

**PENGARUH WAKTU *PRETREATMENT* MENGGUNAKAN
GELOMBANG ULTRASONIK PADA SERAT BAMBU PETUNG
(*Dendrocalamus Asper*) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT
BERMatrik *EPOXY***

**SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**EMERALDA ADHIASTRA
NIM. 175060207111034**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH WAKTU *PRETREATMENT* MENGGUNAKAN GELOMBANG ULTRASONIK PADA SERAT BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus Asper*) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT BERMATRIK *EPOXY*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



EMERALDA ADHIASTRA

NIM. 175060207111034

Skripsi telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal 21 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Rudianto Raharjo, ST., MT.
NIP. 19820225 201212 1 002

Dosen Pembimbing II

Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D
NIP. 201411 841123 1 01

Mengetahui,
Ketua Program Studi Sarjana

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 22 Juli 2021

Mahasiswa,



Emeralda Adhiastra

NIM. 175060207111034

TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 759/UN10.F07.12.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

EMERALDA ADHIASTRA

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH WAKTU PRETREATMENT MENGGUNAKAN
GELOMBANG ULTRASONIK PADA SERAT BAMBU PETUNG
(Dendrocalamus Asper) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT
BERMATRIK EPOXY**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi ≤ 20 %, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal



Prof. DIJARDI B. DARMADI, Ir.,MT.,Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Malang, 22 Juli 2021

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

MEGA NUR SASONGKO, ST.,MT.,Dr.Eng
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH WAKTU *PRETREATMENT* MENGGUNAKAN GELOMBANG
ULTRASONIK PADA SERAT BAMBUI PETUNG (*Dendrocalamus asper*) TERHADAP
KEKUATAN TARIK KOMPOSIT BERMATRIK *EPOXY*

Nama Mahasiswa : Emerald Adhiastra

NIM : 175060207111034

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Manufaktur

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Rudianto Raharjo, ST., MT.

Pembimbing II : Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.

Dosen Penguji 2 : Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.

Dosen Penguji 3 : Redi Bintarto, ST., M.Eng. Pract.

Tanggal Ujian : 8 Juli 2021

SK Penguji : 1186/UN10.F07/SK/2021



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik. Laporan skripsi ini berjudul **“Pengaruh Waktu *Pretreatment* Menggunakan Gelombang Ultrasonik Pada Serat Bambu Petung (*Dendrocalamus Asper*) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Bermatrik Epoxy”**.

Laporan ini disusun sebagai bentuk dokumentasi dan hasil akhir dari proses perkuliahan yang telah dilaksanakan. Laporan ini juga diajukan sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dalam kurikulum program studi Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Dalam melaksanakan proses penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa tidak akan dapat menyelesaikan semuanya dengan baik tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada banyak pihak di antaranya:

1. Bapak Prof. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional (KKJF) Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
5. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi bimbingan serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah memberi saran dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Pengajar, Staf Administrasi, dan Karyawan jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu dan bantuannya selama perkuliahan.
8. Ibu Yati Kusmiati dan Bapak Eddy Rusmana selaku orang tua penulis. Serta kakak dan adik saya yang telah memberikan doa, dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Keluarga Besar Laboratorium Pengecoran Logam Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT.,

selaku Ka.Lab dan Teman-teman Asisten (Mas Farhan, Mas Firas, Mas Egi, Mas Hakiki, Mas Tara, Harry, Ridho, Reza, Dhimas, Allen) yang selalu menerima penulis, memberikan semangat, wawasan, dan tempat bernaung selama ini.

10. Teman – teman M17 yang selalu hadir mewarnai kehidupan berkuliah di Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membantu perkembangan pembahasan terkait topik laporan ini maupun bagi penulis secara pribadi.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan bagi perkembangan keilmuan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Malang, 6 Juli 2021

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Waktu Pretreatment	12
2.3 Pretreatment	13
2.4 Gelombang Ultrasonik	14
2.5 Serat	17
2.5.1 Alkalisasi Serat	19
2.6 Bambu	20
2.6.1 Bambu Petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>)	24
2.7 Kekuatan Tarik	26
2.7.1 Uji Tarik	27
2.7.2 Tegangan dan Regangan	27
2.8 Komposit	30
2.9 Klasifikasi Komposit	31
2.9.1 Komposit Berdasarkan Jenis Penguat	31
2.9.2 Komposit Berdasarkan Jenis Matrik	33
2.10 Metode Manufaktur Komposit	35
2.11 Cacat Pada Komposit	40
2.12 Matriks	41

2.13 Teori Ikatan Matrik dengan Serat Penguat	42
2.14 Epoxy	43
2.15 Hipotesis	44
BAB III METODE PENELITIAN	45
3.1 Metodologi Penelitian	45
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	45
3.3 Variabel Penelitian	45
3.4 Bahan dan Peralatan yang Digunakan	46
3.4.1 Bahan Yang Digunakan	46
3.4.2 Peralatan Yang Digunakan	49
3.5 Uji Tarik Komposit	56
3.6 Pengujian <i>Wettability</i>	57
3.7 Proses Pelaksanaan	58
3.7.1 Proses Pembuatan Serat Tunggal	59
3.7.2 Proses Pemanasan Menggunakan Gelombang Ultrasonik	59
3.7.3 Proses <i>Vacuum Assisted Resin Infusion</i>	60
3.7.4 Proses Pengujian Kekuatan Tarik Komposit	61
3.7.5 Proses Pengujian Kekuatan Tarik Serat	62
3.8 Diagram Alir Penelitian	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	67
4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Serat Tunggal Bambu Petung	67
4.2 Morfologi Permukaan Serat Tunggal Bambu Petung	69
4.3 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung	76
4.4 Tegangan-Regangan Hasil Pengujian Tarik Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung	78
4.5 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Menggunakan Foto Makroskopik	79
4.5.1 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Tanpa Perlakuan Menggunakan Foto Makroskopik	79
4.5.2 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Pemanasan Gelombang Ultrasonik 15 Menit	81
4.5.3 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Pemanasan Gelombang Ultrasonik 30 Menit	83

4.5.4	Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Pemanasan Gelombang Ultrasonik 45 Menit	84
4.6	Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Menggunakan SEM	86
4.7	Hasil Pengujian <i>Wettability</i>	91
BAB V PENUTUP		95
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran	96
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		





HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan Gula Netral (% sampel lignin, b/b) Dalam Preparat Lignin.....	9
Tabel 2.2	Sifat Fisis dan Mekanis Bambu Hitam dan Bambu Apus	23
Tabel 2.3	Analisis Kimia 10 Jenis Bambu.....	24
Tabel 2.4	Komposisi Kimia Beberapa Serat Bambu	25
Tabel 2.5	Properties Bambu Petung Yang Digunakan	25
Tabel 2.6	<i>Mechanical Properties Dendrocalamus Asper</i>	26
Tabel 2.7	<i>Typical Unfilled Thermosetting Resin Properties</i>	34
Tabel 2.8	<i>Typical Unfilled Thermoplastic Resin Properties</i>	35
Tabel 2.9	Spesifikasi <i>Resin</i> Epoksi.....	44
Tabel 2.10	Spesifikasi <i>Hardener</i> Epoksi	44
Tabel 3.1	Spesifikasi <i>Liquid Standart Epoxy Resin Based On Bisphenol-A</i>	47
Tabel 3.2	Properties bambu petung yang digunakan.....	48
Tabel 3.3	Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-01, T=3.2 mm (0.12).....	57
Tabel 4.1	Presentase kadar lignin pada serat	68
Tabel 4.2	Daerah patahan komposit berpenguat serat bamboo petung	79
Tabel 4.3	Skema sudut kontak pada droplet pada permukaan	93



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) Analisis SEM serat selulosa tanpa sonikasi pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x, (b) Analisis SEM serat selulosa dengan sonikasi 60 menit pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x, (c) Analisis SEM serat selulosa dengan sonikasi 90 menit pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x, (d) Analisis SEM serat selulosa dengan sonikasi 120 menit pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x.....	5
Gambar 2.2	Pengaruh penambahan ampas tapioka dan nanoserat selulosa terhadap kuat tarik (A) dan pemanjangan putus film tapioka (B)	6
Gambar 2.3	Hubungan Waktu Paparan terhadap Kadar α -selulosa pada <i>Pretreatment</i> dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik untuk Variasi Rasio Massa Kulit Buah Matoa terhadap Volume Larutan Asam Asetat 1:10 dan 1:15.....	7
Gambar 2.4	Hasil SEM dari (a) nanoserat selulosa, (b) NFC 30 menit, (c) NFC 60 menit, (d) NFC 90 menit.....	8
Gambar 2.5	Hasil massa molekul rata-rata viskositas selulosa asetat hasil sintesis.....	10
Gambar 2.6	Pelepasan gula sesuai dengan waktu hidrolisis eceng gondok.....	11
Gambar 2.7	Skema tujuan pretreatment pada bahan <i>lignocellulosic</i>	14
Gambar 2.8	Mekanisme kavitasi yang diakibatkan oleh gelombang ultrasonik	14
Gambar 2.9	Pertumbuhan gelembung ketika proses sonikasi berlangsung.....	15
Gambar 2.10	Struktur selulosa	18
Gambar 2.11	Struktur lignin.....	18
Gambar 2.12	Mekanisme pemutusan ikatan lignin dan selulosa menggunakan NaOH	20
Gambar 2.13	Bambu.....	21
Gambar 2.14	(a) Serat bambu, (b) struktur serat.....	21
Gambar 2.15	Hubungan tegangan dan regangan.....	28
Gambar 2.16	Grafik tegangan regangan polimer	30
Gambar 2.17	Klasifikasi komposit	31
Gambar 2.18	<i>Photomicrograph of WC-Co</i>	32
Gambar 2.19	Skema serat a)serat Panjang, b) serat pendek orientasi searah (<i>aligned</i>), c) serat pendek orientasi acak (<i>randomly oriented</i>).....	34
Gambar 2.20	(a) komposit laminier dan (b) sandwich panels.....	33
Gambar 2.21	Tampak penampang samping ikatan molekul <i>thermoset resin</i> saat pengawetan	34

Gambar 2.22	Bentuk molekuler (a) <i>amorphous</i> dan (b) <i>semicrystalline polimer</i>	35
Gambar 2.23	Proses <i>hand lay up</i>	36
Gambar 2.24	Proses <i>spray up</i>	37
Gambar 2.25	<i>Filament winding</i>	37
Gambar 2.26	<i>Vacuum bag</i>	38
Gambar 2.27	<i>Pressure bag</i>	38
Gambar 2.28	Proses <i>compression molding</i>	39
Gambar 2.29	Proses <i>injection molding</i>	39
Gambar 2.30	Proses <i>countinuous pultrusion</i>	40
Gambar 2.31	<i>Resin transfer molding</i>	40
Gambar 2.32	Ikatan mekanik (<i>mechanical bonding</i>).....	43
Gambar 2.33	Ikatan elektrostatik (<i>electrostatic bonding</i>).....	43
Gambar 2.34	Ikatan reaksi.....	43
Gambar 2.35	Struktur kimia resin epoksi A dan B	44
Gambar 3.1	<i>Resin epoxy</i>	48
Gambar 3.2	<i>Hardener epoxy</i>	49
Gambar 3.3	Serat bambu petung	50
Gambar 3.4	NaOH.....	51
Gambar 3.5	Mesin uji tarik serat tunggal.....	51
Gambar 3.6	Spesimen uji tarik serat tunggal	52
Gambar 3.7	Alat uji tarik komposit.....	52
Gambar 3.9	<i>Ultrasonic cleaner</i>	53
Gambar 3.10	Timbangan digital.....	53
Gambar 3.11	Cetakan.....	54
Gambar 3.12	<i>Sealent tape</i>	54
Gambar 3.13	<i>Mesh</i>	54
Gambar 3.14	<i>Mirror glaze</i>	55
Gambar 3.15	<i>Plastic bag</i>	55
Gambar 3.16	<i>Vacuum pump</i>	55
Gambar 3.17	<i>C-Clamp</i>	56
Gambar 3.18	<i>Resin trap</i>	56
Gambar 3.19	Gelas plastik.....	57
Gambar 3.20	<i>PE tube</i>	57
Gambar 3.21	Dimensi spesimen tarik berdasarkan ASTM D638-01.....	58

Gambar 3.22	Spesimen uji tarik serat tunggal ASTM D3379-75	59
Gambar 3.23	Skema pengujian <i>wettability</i>	60
Gambar 3.24	Skema <i>vacuum assisted resin infusion</i>	62
Gambar 4.1	Grafik hasil pengujian tarik serat tunggal bambu petung	69
Gambar 4.2	Hasil SEM serat bambu petung tanpa perlakuan dengan perbesaran (a) 500x dan (b) 750x	72
Gambar 4.3	Hasil SEM serat bambu petung pemanasan 15 menit dengan perbesaran (a) 500x dan (b) 750x	72
Gambar 4.4	Hasil SEM serat bambu petung pemanasan 30 menit dengan perbesaran (a) 500x dan (b) 750x	73
Gambar 4.5	Hasil SEM serat bambu petung pemanasan 45 menit dengan perbesaran (a) 500x dan (b) 750x	73
Gambar 4.6	Skema pemutusan lignin akibat larutan NaOH	75
Gambar 4.7	Monomer lignin	76
Gambar 4.8	Ilustrasi pelepasan lignin dari serat bambu ketika proses <i>pretreatment</i>	77
Gambar 4.9	Ilustrasi lignin serat menghambat penempelan matriks epoksi	77
Gambar 4.10	Grafik hasil pengujian tarik komposit berpenguat serat tunggal bambu petung	78
Gambar 4.11	Grafik hasil pengujian tarik komposit berpenguat serat tunggal bambu petung	78
Gambar 4.12	Tegangan dan regangan uji tarik komposit berpenguat serat bambu petung	80
Gambar 4.13	Patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan	82
Gambar 4.14	Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan <i>section A</i>	83
Gambar 4.15	Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan <i>section B</i>	83
Gambar 4.16	Patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan 15 menit	84
Gambar 4.17	Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i> 15 menit <i>section A</i>	84
Gambar 4.18	Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i> 15 menit <i>section B</i>	85
Gambar 4.19	Patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i>	

30 menit	85
Gambar 4.20 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i> 30 menit <i>section A</i>	86
Gambar 4.21 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i> 30 menit <i>section B</i>	86
Gambar 4.22 Patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i> 45 menit	87
Gambar 4.23 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i> 45 menit <i>section A</i>	88
Gambar 4.24 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan <i>Pre-Treatment</i> 45 menit <i>section B</i>	88
Gambar 4.25 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x	89
Gambar 4.26 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x	90
Gambar 4.27 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 30 menit dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x.....	91
Gambar 4.28 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung pemanasan gelombang 45 menit dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x.....	92
Gambar 4.29 Posisi droplet resin <i>epoxy</i> dengan serat	93
Gambar 4.30 Sudut kontak droplet resin <i>epoxy</i> terhadap serat bambu petung (a) Tanpa Perlakuan, (b) pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit, (c) pemanasan gelombang ultrasonik 30 menit, (d) pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik & Mulur Serat Bambu Petung

Lampiran 2. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

Lampiran 3. Hasil Pengujian Persentase Kadar Lignin





HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

RINGKASAN

Emeralda Adhiastra, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2021, Pengaruh Waktu Pretreatment Menggunakan Gelombang Ultrasonik Pada Serat Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Bermatriks Epoxy, Dosen Pembimbing : Rudianto Raharjo dan Teguh Dwi Widodo

Tingginya limbah serat sintetis dalam industri manufaktur meningkat dalam 10 tahun terakhir dan dihasilkan limbah sebesar 40% dari bahan yang digunakan. Hal tersebut berbahaya bagi lingkungan. Kepedulian terhadap lingkungan tersebut menyebabkan perlunya pemilihan material yang *eco-friendly*. Sehingga pemilihan serat alam yang digunakan untuk penguat komposit mulai dikembangkan dan mendapatkan perhatian lebih. Bambu petung (*Dendrocalamus asper*) merupakan salah satu bambu yang ada di Indonesia dan ketersediaannya sangat melimpah. Selain itu bambu petung memiliki kekuatan yang baik sehingga berdasarkan karakteristiknya dan ketersediaannya mampu dijadikan sebagai bahan penguat komposit.

Pada penelitian ini penguat komposit yang digunakan ialah serat bambu petung tanpa perlakuan dan serat bambu petung yang diperlakukan menggunakan gelombang ultrasonik dengan waktu 15 menit, 30 menit, dan 45 menit di dalam larutan NaOH 1 molar. Metode pembuatan komposit yang digunakan adalah metode *vacuum assisted resin infusion*. Pengujian tarik dilakukan pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung sesuai standar ASTM D638-01.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama pemanasan gelombang ultrasonik dalam larutan NaOH 1M menghasilkan nilai kekuatan tarik komposit yang semakin tinggi dikarenakan adhesi antara serat dengan matriks *epoxy* yang semakin baik. Kekuatan tarik tertinggi didapat pada komposit berpenguat serat bambu petung dengan waktu pemanasan 45 menit sebesar 163,135 MPa, selanjutnya pemanasan dengan waktu 30 menit sebesar 149,484 MPa, pemanasan dengan waktu 15 menit sebesar 143,706 MPa, dan terendah pada spesimen komposit serat bambu petung tanpa perlakuan sebesar 110,359 MPa. Berdasarkan analisa melalui hasil SEM dan foto makro menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan mengurangi cacat *pull out* pada patahan komposit karena semakin meningkatnya adhesi antara serat dengan matriks *epoxy*. Selain itu hasil uji *wettability* juga menunjukkan bahwa kemampubasahan antara serat dengan matriks *epoxy* semakin baik seiring meningkatnya daya pemanasan gelombang ultrasonik.

Kata Kunci : Komposit, Bambu Petung, Gelombang Ultrasonik, Kekuatan Tarik



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

SUMMARY

Emeralda Adhiastra, Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Juli 2021, The Effect of Pretreatment Time Using Ultrasonic Waves on Petung Bamboo Fiber (*Dendrocalamus asper*) Towards The Tensile Strength of Epoxy Matrix Composite, Academic Supervisor : Rudianto Raharjo and Teguh Dwi Widodo

Residual waste from the use of synthetic fibers in manufacturing industry has increased in the last 10 years and generated 40% waste from the used material. This is dangerous for the environment. Concern for the environment has led to need for eco-friendly material selection. Selection of the natural fibers used for reinforcing composites began to be developed and received more attention. Petung bamboo (*Dendrocalamus asper*) is one of the bamboo in Indonesia and its availability is abundant. In addition, petung bamboo has good strength so that based on its characteristics and availability it can be used as a reinforcing material in composite.

In this study, reinforcing material in composites is used untreated petung bamboo fibers and petung bamboo fibers is treated using ultrasonic wave with pretreatment time of 15 minutes, 30 minutes, and 45 minutes in NaOH solution. The method of making composites is using a vacuum assisted resin infusion method. Tensile testing was carried out on composite specimen was reinforced by petung bamboo fibers according to ASTM D638-01 standards.

The results showed longer ultrasonic wave in 1M NaOH solution yielded higher composite tensile strength due to better adhesion between the fibers and the epoxy matrix. The highest tensile strength was obtained in reinforced petung bamboo composites with a pretreatment time of 45 minutes and 163,135 MPa, followed by 30 minutes and 149,484 MPa, 15 minutes with 143,706 MPa, and the lowest tensile strength obtained in petung bamboo fiber composite specimens without treatment was 110,359 MPa. Analysis through SEM results and macro photographs showed that the treatment given reduced defects of pull out on composite due to the increasing adhesion between fibers and epoxy matrix. In addition, the results of wettability test also showed the efficiency between fibers and epoxy matrix improved as the time of pretreatment increased.

Keywords : Composite, Petung Bamboo, Ultrasonic Wave, Tensile Strength



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong sektor industri untuk berinovasi menemukan teknologi pengganti sebagai untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Khususnya pada bahan material, dibutuhkan bahan material berkualitas dan memiliki sifat mekanik tinggi. Material komposit merupakan langkah alternatif untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material lainnya. Material komposit dibentuk dengan menggabungkan dua atau lebih material penyusunnya melalui suatu campuran yang heterogen dan setiap material penyusunnya memiliki sifat mekanik yang (Matthews, 1993). Dalam pembuatan material komposit diperlukan pencampuran dari dua unsur, yakni penguat (*reinforcement*) berbentuk serat (*fiber*) yang mempunyai kekuatan serta kekakuan tinggi dan matrik yang berfungsi untuk mentransmisikan gaya geser, menjaga posisi serat juga sebagai pelapis serat (Schwartz, 2002). Campuran kedua elemen ini menghasilkan komposit dengan sifat mekanik baru yang berbeda dari bahan penyusunnya.

Penggunaan material komposit dengan penguat sintetis telah diterapkan di berbagai aspek kehidupan. Tetapi, pemakaian serat sintetis sebagai bahan penguat komposit berdampak negatif terhadap lingkungan karena limbahnya sulit terurai dan mengganggu ekosistem. Serat alam bersifat *biodegradable* sehingga baik digunakan sebagai penguat komposit. Terdapat banyak jenis serat alam seperti: serat nanas, serat goni, serat ijuk, serat sabut kelapa, serat pisang, serat bamboo, dan lain-lain (Jyoti, Mishra, 2013). Serat bambu merupakan satu dari banyak serat alam yang dapat digunakan sebagai bahan penguat komposit. Serat bambu yang sudah diekstraksi dapat dimanfaatkan sebagai penguat matriks polimer (Trujillo 2014). Komposit yang diperkuat serat alami telah banyak dikembangkan karena *eco friendly* (Yang 2015, Bledzki 1999). Selain itu, serat bambu merupakan bahan baku terbarukan dan daya abrasinya yang rendah (Chidambaram 2011 Bledzki 1999).

Menurut Winarno (1992), bambu termasuk dalam keluarga *Graminae* (rerumputan). Tanaman ini dikenal sebagai rumput raksasa (*giant grass*) yang pertumbuhannya bertahap dimulai dari rebung lalu batang muda hingga batang dewasa di umur empat hingga lima

repository.ub.ac.id

tahun. Tanaman ini tumbuh di daerah Asia, disekitar Samudra Pasifik, dan pulau-pulau di Samudera Hindia (Hardin 2009). Maka dari itu, bambu dapat tumbuh dan berkembang di Indonesia. Bambu Indonesia dapat ditemukan di dataran rendah hingga pegunungan diketinggian 0-700 meter di atas permukaan laut (Verhoef, 1997). Umumnya bambu merupakan bahan *orthotropic*, yakni bahan yang memiliki berbagai sifat berbeda sepanjang tiga sumbu: radial, longitudinal, dan tangensial. Perbedaan sifat karakteristik bambu disebabkan oleh banyak faktor seperti: umur bambu, jenis bambu, bagian batang bambu, keadaan lingkungan, dan keadaan tanah.

Di Indonesia, bambu dengan nama botani (*Dendrocalamus asper*) dikenal sebagai bambu petung. Bambu jenis ini memiliki ciri-ciri: rumpunnya agak rapat, tumbuh di dataran rendah hingga pegunungan pada ketinggian 2000 meter dpl. Tumbuh dengan baik, terutama di tempat yang lembab. Warna kulit dari batang bambu ini hijau kekuning-kuningan, panjang batangnya sekitar 10-14 meter, ruasnya berkisar 40-60 cm, diameternya 6-15 cm, serta tebal dindingnya 10-15 mm (Morisco, 1999).

Ilmu pengetahuan tentang proses *pretreatment* semakin berkembang telah mengantarkan teknik ultrasonik sebagai alternatif proses *pretreatment* untuk mendapatkan selulosa kadar tinggi. Perkembangan teknik ultrasonik ini sangat ramah lingkungan dan mudah penggunaannya. Menurut Yunus (2010), pada penelitian ini, gelombang ultrasonik digunakan dalam *pretreatment* untuk mempermudah hidrolisis substrat yang dihasilkan dengan meningkatkan luas permukaan dan mengubah kristalinitas substrat. *Pretreatment* didukung dengan penambahan larutan alkali NaOH guna memutus ikatan kimia antara lignin dengan selulosa (Maryana, 2014).

Pretreatment dilakukan untuk mengurangi kandungan lignin yang menempel pada serat bambu petung. Lignin yang bersifat licin akan mengurangi ikatan adhesi antar serat dengan epoksi sehingga perlu dihilangkan dengan cara *pretreatment* menggunakan gelombang ultrasonik dalam larutan alkali NaOH. Serat yang sudah diberikan perlakuan akan memiliki permukaan yang kasar sehingga mampu meningkatkan ikatan adhesi serat dengan epoksi. Ikatan adhesi yang kuat akan menghasilkan kekuatan tarik komposit yang baik.

Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk membuktikan hipotesis penelitian serta dengan pengujian kekuatan tarik bisa diketahui sifat material komposit tersebut *brittle* atau *ductile* ditinjau dari patahan yang terjadi dan cacat produk yang terdapat pada material komposit. Salah satu contoh aplikasi produk komposit berpenguat serat bambu petung jika dihubungkan dengan kekuatan tarik ialah sebagai material konstruksi galar balok, kulit, papan geladak kapal dan balok geladak kapal pada kapal kayu yang diteliti oleh Arrahman

(2017). Penelitian tersebut dilakukan untuk menghasilkan alternatif material yang kuat, liat, ringan, dan tidak mudah pecah sebagai konstruksi kapal kayu. Untuk mengetahui sifat mekaniknya maka dilakukan pengujian kekuatan tarik.

Pretreatment dari biomassa lignoselulosa dengan alkali seperti NaOH dapat menghancurkan atau mengubah konten lignin dengan memecah ikatan ester yang membentuk ikatan silang yang melibatkan xylan dan lignin, sehingga meningkatkan porositas lignoselulosa (Tarkow., Feist, 1969). Efisiensi NaOH sangat tergantung pada parameter pengoperasiannya seperti suhu, konsentrasi NaOH, waktu treatment di samping karakteristik bawaan biomassa yang digunakan (Sharma dkk, 2007). *Pretreatment* bahan lignoselulosa dengan penambahan NaOH mengakibatkan penurunan derajat polimerisasi kristalinitas, peningkatan luas permukaan internal, dekonstruksi lignin, dan pemisahan struktural antara lignin dengan karbohidrat (Dehani, 2013). Proses *pretreatment* alkali (NaOH) dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan penerapan ultasonik (Filson dkk, 2009). Fraksinasi dengan ultrasonik dari biomassa lignoselulosa meningkatkan keefektifan *pretreatment* seperti *pretreatment* alkali (NaOH), memberikan hasil dan selektivitas yang tinggi secara proporsional dari produk yang diperoleh (Garcia dkk, 2011).

Oleh sebab itu, peneliti akan menggunakan serat alam dari bambu petung (*Dendrocalamus asper*) untuk dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit serat alam dengan perlakuan gelombang ultasonik dan alkali (NaOH). Pada penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan serat bambu petung (*Dendrocalamus asper*) sebagai bahan dasar komposit dengan matrik epoxy yang diuji dengan metode pengujian tarik yang telah disesuaikan dengan standar ASTM638-01. Pembuatan komposit berpenguat serat bambu petung menggunakan metode *vacuum infusion*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh waktu *pretreatment* dengan gelombang ultrasonik dalam larutan alkali NaOH pada serat alam bambu petung (*Dendrocalamus asper*) terhadap kekuatan tarik komposit bermatriks epoksi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan rumusan masalah, yakni bagaimana pengaruh waktu *pretreatment* dengan memanfaatkan gelombang ultasonik pada serat bambu petung (*Dendrocalamus asper*) dalam larutan alkali NaOH terhadap kekuatan tarik komposit bermatriks epoxy?

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Saat pembuatan material komposit serat bambu petung digunakan temperatur ruangan.
2. Kecepatan aliran resin dengan metode *vacuum infusion* konstan.
3. Tebal serat bambu petung konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai kekuatan tarik pada serat bambu petung (*Dendrocalamus asper*) bermatrik resin *epoxy* setelah melalui proses *vacuum infusion* dengan memvariasikan waktu *pretreatment* gelombang ultasonik.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan material komposit dengan penguat serat bambu petung dengan matrik *epoxy* yang memiliki kekuatan tarik tinggi.
2. Menjadi perantara dan *reference* untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengaruh waktu *pretreatment* oleh gelombang ultrasonik dalam larutan alkali NaOH pada serat alam bambu petung (*Dendrocalamus asper*) terhadap kekuatan tarik komposit bermatriks epoksi.

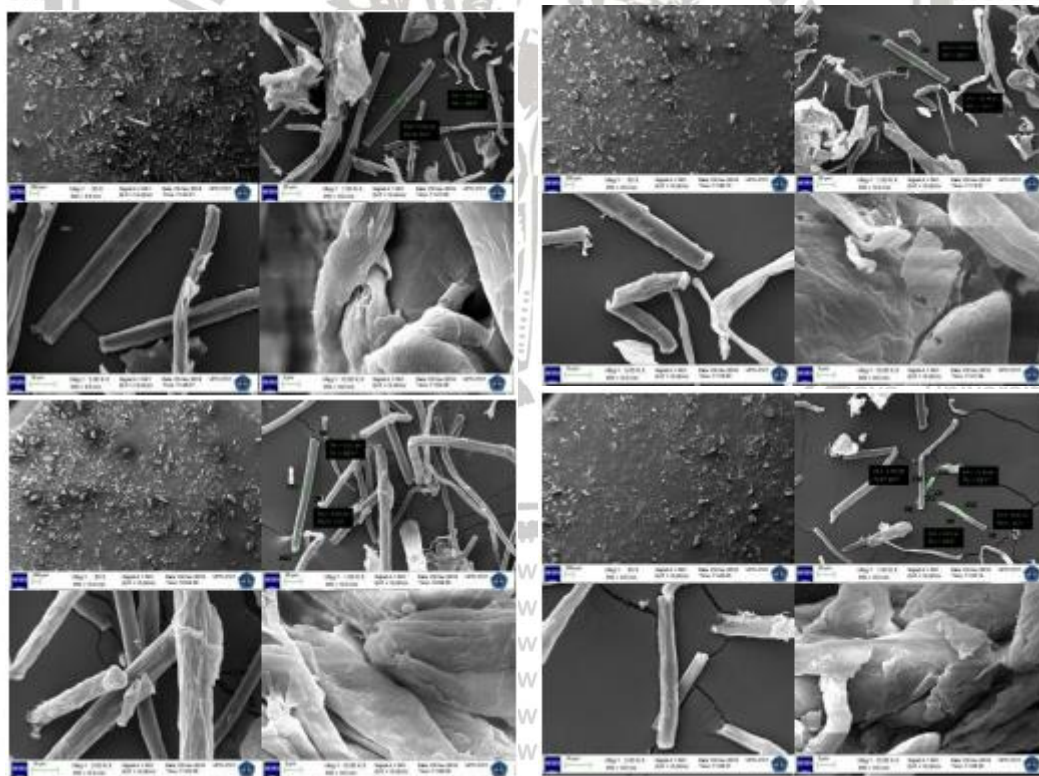


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Jenuardy (2018) meneliti penggunaan gelombang ultrasonik pada biomaterial pati untuk menghasilkan kekuatan tarik yang lebih baik dan biomaterial yang lebih baik dalam waktu 0, 15, 30, 45, dan 60 menit berturut-turut 8,954, 11,8, 14,8, 20,5, 28 MPa. Dalam analisis SEM dengan waktu ultrasonik 60 menit, molekul bioplastik terdispersi dengan baik dalam pelarut, menciptakan lapisan struktur lembaran tipis dengan celah nanometer di antara pelat. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk menghasilkan kekuatan tarik dan bio-komposit yang lebih baik.

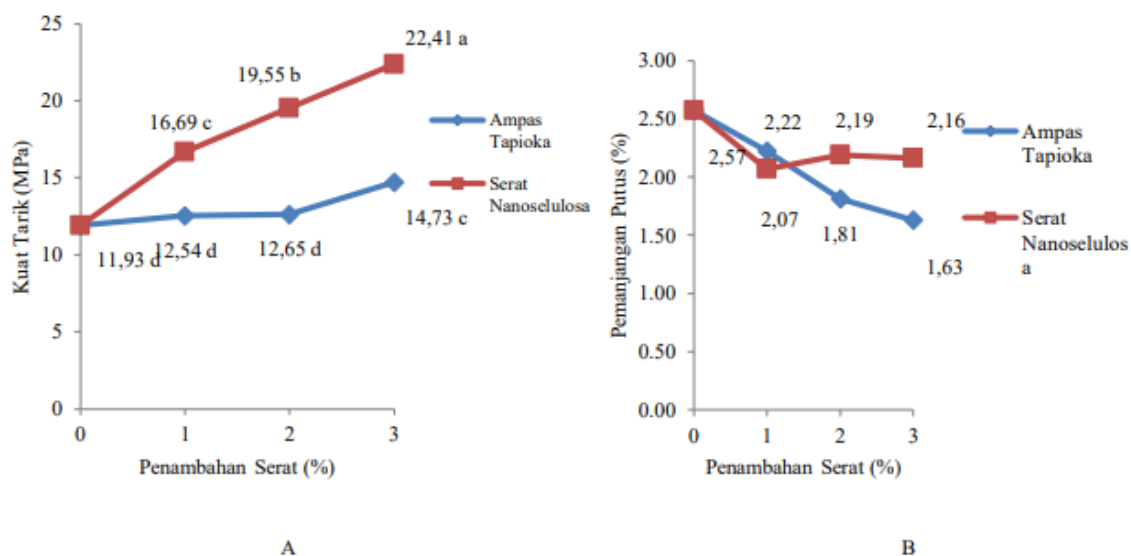
Darni *et al* (2020) menjelaskan bahwa serat selulosa yang dihasilkan oleh penelitian ini berkisar antara 4-10 mikron.



Gambar 2.1 (a) Analisis SEM serat selulosa tanpa sonikasi pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x, (b) Analisis SEM serat selulosa dengan sonikasi 60 menit pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x, (c) Analisis SEM serat selulosa dengan sonikasi 90 menit pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x, (d) Analisis SEM serat selulosa dengan sonikasi 120 menit pada perbesaran 50, 1000, 3000, dan 10000x

Waktu ultrasonikasi pada selulosa yang telah diekstrak melalui proses kimia memiliki pengaruh terhadap ukuran serat yang dihasilkan. Pada frekuensi tetap, diketahui bahwa semakin lama serat diberi perlakuan maka semakin kecil pula ukurannya. Hal tersebut dapat terlihat pada ukuran yang dihasilkan sebelum ultrasonikasi yaitu 10, 21 mikron, setelah ultrasonikasi 60 menit yaitu 10,64 mikron, setelah ultrasonikasi 90 menit yaitu 9,25 mikron, dan setelah ultrasonikasi 120 menit yaitu 4,89 mikron.

Wicaksono (2013) menggunakan metode *Ultrasonic Bath* pada frekuensi 50-60 khz. Serat yang dihasilkan ditujukan sebagai bahan pengisi pada bioplastik berbasis pati. Metode sonikasi merupakan proses mekanik yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk menghasilkan tegangan mekanik yang kuat, menyebabkan kavitasi, yaitu peristiwa pembentukan, pertumbuhan dan pecahnya gelembung di dalam cairan dengan melibatkan sejumlah energi yang sangat besar, dan suspensi memiliki efek perambatan panas internal. Fenomena ini yang digunakan untuk memisahkan serat selulosa menjadi bentuk yang lebih kecil.



Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT 5%

Gambar 2.2 Pengaruh penambahan ampas tapioka dan nanoserat selulosa terhadap kuat tarik (A) dan pemanjangan putus film tapioka (B)

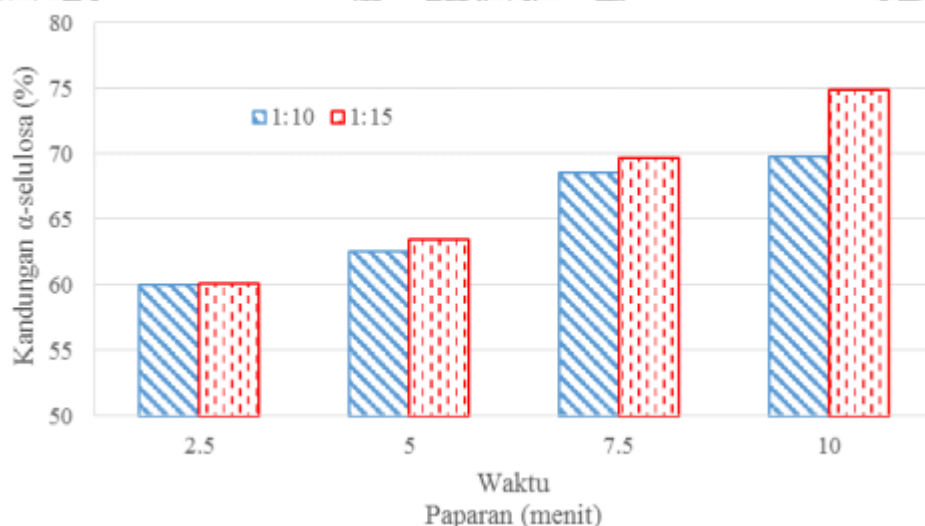
Penambahan nanoserat selulosa menghasilkan peningkatan kuat tarik film tapioka yang lebih besar dibandingkan dengan ampas tapioka. Penambahan serat dari ampas tapioka sebanyak 3% baru dapat menyamai penambahan nanoserat selulosa 1%. Sifat penguatan tersebut dipengaruhi oleh sifat distribusi dan kristalinitas serat yang digunakan

Nanoserat selulosa yang jauh lebih kecil dibandingkan serat ampas tapioka, seperti yang ditunjukkan dari hasil pengamatan TEM, dapat meningkatkan luas permukaan totalnya, sehingga memperbesar kontak permukaan antara serat dan matriks film. Peningkatan kontak permukaan memungkinkan peningkatan ikatan hidrogen antara matriks dan serat, sehingga memudahkan peralihan beban dari matriks ke serat (Bilbao-Sainz et al., 2011).

Kuat tarik yang lebih rendah pada ampas tapioka juga disebabkan oleh sifatnya yang lebih mudah mengalami aglomerasi dibandingkan dalam bentuk nanoserat selulosa, sehingga mengurangi keefektifan penguatan.

Ultrasonikasi dimanfaatkan untuk mempercepat pelarutan suatu materi dengan cara mengacaukan reaksi antarmolekul membentuk partikel (Pratiwi et al., 2018). Gelombang ultrasonik dapat mengurangi berat molekul seiring dengan meningkatnya durasi gelombang ultrasonik.

Kurniawan (2017) menjelaskan bahwa *pretreatment* ultrasonikasi mampu meningkatkan kandungan selulosa dari kulit buah matoa dalam kisaran variabel yang diteliti. Rasio antara kulit buah matoa dan asam asetat adalah 1:15, dan total waktu paparan adalah 10menit, yang merupakan kondisi terbaik karena dapat memberikan kandungan α -selulosa 74,86%. Kandungan pulp selulosa meningkat hingga 67,59% (dari 50,6 % menjadi 74,86%) dengan *pretreatment* ultrasonik.



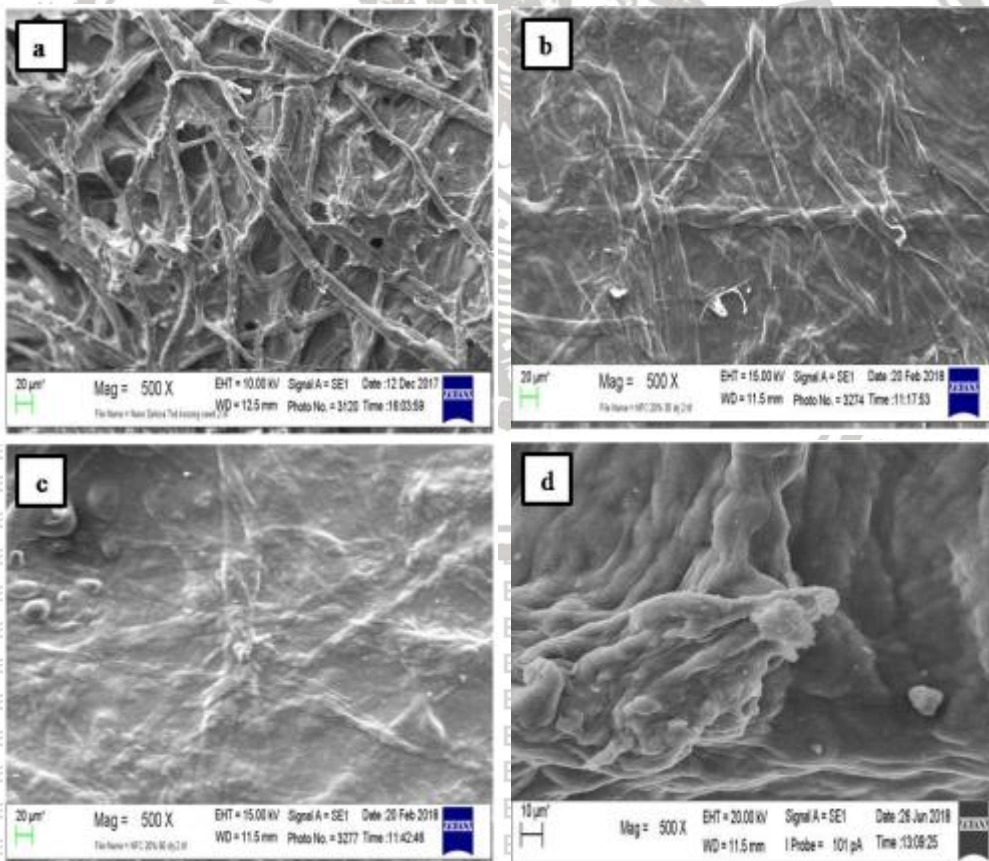
Gambar 2.3 Hubungan Waktu Paparan terhadap Kadar α -selulosa pada Pretreatment dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik untuk Variasi Rasio Massa Kulit Buah Matoa terhadap Volume Larutan Asam Asetat 1:10 dan 1:15

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa total waktu paparan dan volume pelarut berbanding lurus terhadap kadar α -selulosa yang dihasilkan. Dengan total waktu paparan

gelombang ultrasonik yang lebih lama dan volume pelarut yang lebih besar maka semakin banyak lignin yang dapat diekstrak oleh pelarut dan meningkatkan kadar α -selulosa dari kulit buah matoa.

Pretreatment ultrasonik bisa memutus ikatan antara lignoselulosa biomassa menjadi lignin dan selulosa. Ini karena fenomena kavitasi yang dapat terjadi dengan paparan gelombang ultrasonik. Fenomena ini menciptakan gesekan yang tinggi antara partikel sehingga meningkatkan perpindahan massa dengan pelarut. Pecahnya gelembung menciptakan turbulensi yang sangat besar dan tumbukan antarpartikel yang sangat cepat, sehingga meningkatkan perpindahan massa (Luque, 2007). Fenomena dari kavitasi terjadi pada antarmuka antara pelarut dan kulit matoa sehingga ikatan lignoselulosa dipecah menjadi lignin dan selulosa.

Sebuah studi oleh Andita (2018) menggunakan tandan kelapa sawit yang diekstraksi untuk mendapatkan serat nano selulosa. Sifat morfologis yang optimal diperoleh dalam waktu 90 menit setelah sonikasi.



Gambar 2.4 Hasil SEM dari (a) nanoserat selulosa, (b) NFC 30 menit, (c) NFC 60 menit, (d) NFC 90 menit

Dalam hal ini jelas memperlihatkan bahwa serat menjadi terpisah secara individu karena telah hilangnya hemiselulosa, lignin, dan pektin setelah perlakuan kimia, dan bahan-bahan tersebut merupakan perekat di sekitar bundelan serat. Analisa morfologi dengan SEM menggunakan alat ZEISS, dimana dilakukan perbesaran sebesar 500 kali.

Hasil analisa ini juga menunjukkan bahwa nanoserat selulosa yang dihasilkan dengan waktu kontak pelarut LiCl/DMAc selama 90 menit menunjukkan permukaan yang memiliki struktur yang lebih homogen dan ukuran pori-pori serat semakin mengecil dibandingkan dengan nanoserat selulosa dan film nanokomposit selulosa yang dihasilkan dengan waktu kontak pelarut LiCl/DMAc selama 30 menit dan 60 menit. Hal ini disebabkan karena semakin lamanya waktu kontak antar pelarut LiCl/DMAc dengan nanokomposit selulosa, maka semakin banyak nanoserat selulosa yang terlarut secara parsial yang menyebabkan permukaan lebih halus.

Sun dan Tomkinson (2002) dalam penelitiannya mengenai perbandingan antara delignifikasi jerami gandum yang diberi pretreatment alkali-ultrasonikasi dengan delignifikasi jerami gandum tanpa ultrasonikasi menghasilkan bahwa pretreatment alkali-ultrasonikasi (15-35 menit) meningkatkan delignifikasi jerami gandum sebesar 7,6-8,4% dibandingkan dengan pretreatment alkali tanpa ultrasonikasi. Peningkatan ini dikaitkan dengan gaya geser hidrodinamik yang terkait dengan sonikasi.

Tabel 2.1

Kandungan gula netral (% sampel lignin, b/b) dalam preparat lignin

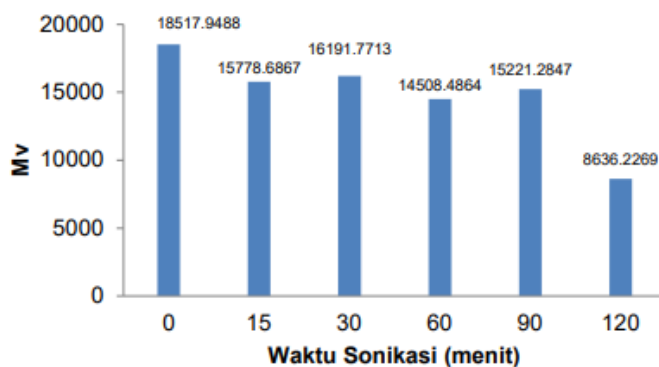
<i>Neutral sugars</i>	<i>Ultrasonic time (min)</i>							
	0	5	10	15	20	25	30	35
<i>Arabinonse</i>	0,25	0,22	0,22	0,22	0,20	0,18	0,16	0,16
<i>Xylose</i>	0,53	0,50	0,49	0,46	0,47	0,47	0,48	0,45
<i>Glucose</i>	0,23	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20	0,18	0,17
<i>Galactose</i>	0,13	0,13	0,12	0,11	0,12	0,10	0,11	0,09
Total	1,14	1,06	1,04	1,00	1,03	0,95	0,93	0,87

Degradasi lignin dengan perlakuan alkali dapat ditingkatkan efisiensinya dengan menggunakan *ultrasound* (sonikasi), yang dapat mengurangi konsentrasi alkali yang digunakan serta meningkatkan persentase lignin yang hilang. Di tahun 2013, Subhedar dkk., membandingkan hasil delignifikasi dari metode yang menggunakan alkali dengan metode penggabungan perlakuan alkali dan ultrasonikasi. Setelah 6 jam perlakuan alkali yang

dilakukan pada suhu 353 K dan konsentrasi larutan alkali sebesar 1,75 N diperoleh delignifikasi 40,2%. Sedangkan dengan metode penggabungan perlakuan alkali dan ultrasonikasi, konsentrasi larutan alkali dapat dikurangi menjadi 1 N, dan waktu delignifikasi dapat dikurangi menjadi 70 menit, menghasilkan delignifikasi sebesar 80% (Subhedar, 2013). Hal ini dikarenakan sisipasi daya ultrasonik mempengaruhi jumlah gelembung kavitasi yang terbentuk, masa pakainya, dan intensitas kavitasi yang dihasilkan.

Yang *et al* (2009) menjelaskan bahwa dengan adanya perlakuan gelombang ultrasonik mampu mengekstraksi 39% xilan dalam 43 menit. Sebaliknya, perlakuan konvensional hanya mampu mengekstraksi 34% xilan dalam 24 jam. Ekstraksi dengan bantuan gelombang ultrasonik mampu mengurangi waktu pemrosesan hingga 97% menghasilkan peningkatan sebesar 14,7%. Hal ini dikarenakan ultrasonikasi yang lebih lama akan meningkatkan akumulasi efek kavitasi yang akan menyebabkan peningkatan pemutusan ikatan kovalen antara xylan dan lignin sehingga melepaskan lebih banyak xylan ke larutan.

Augraini *et al* (2018) menguji serat pinang untuk menganalisis pengaruh waktu sonikasi terhadap berat molekul rata-rata viskositas serat pinang. Tahap asetilasi dilakukan selama 3 jam dengan waktu sonikasi 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.



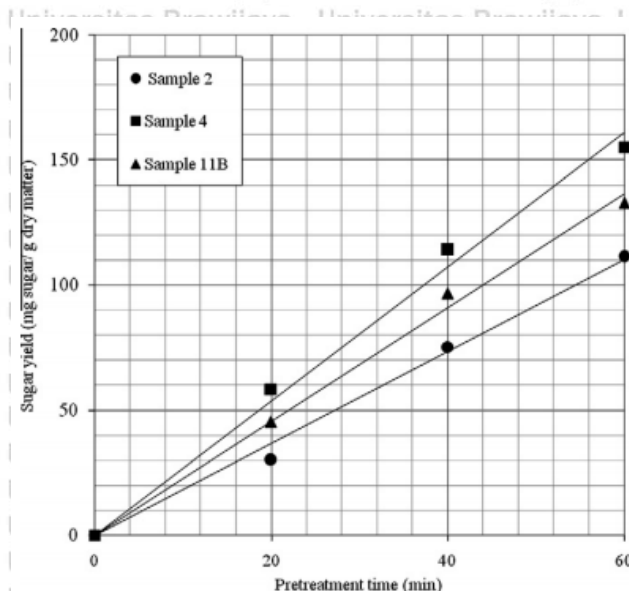
Gambar 2.5 Hasil massa molekul rata-rata viskositas (Mv) selulosa asetat hasil sintesis

Gambar 2.5 menunjukkan terjadinya perubahan massa molekul rata-rata viskositas (Mv) selulosa asetat tanpa sonikasi dengan selulosa asetat menggunakan sonikasi. Rata-rata waktu sonikasi 0 menit berbeda signifikan dengan waktu sonikasi 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa dari waktu sonikasi 15–90 menit Mv selulosa asetat cenderung stabil dan belum mengalami degradasi. Pada waktu sonikasi 120 menit terjadi perubahan signifikan sehingga telah terjadi degradasi.

Sonikasi atau gelombang ultrasonik dapat memutuskan rantai polimer selulosa asetat melalui kavitasi yang terjadi dalam selulosa asetat (Kencana, 2009). Putusnya rantai polimer

berpengaruh pada berat molekul (BM) yang ditunjukkan hubungan berat molekul larutan yang disonikasi terhadap lama waktu sonikasi. Berat molekul (BM) pada studi ini dinyatakan dengan massa molekul rata-rata viskositas (M_v).

Harun *et al* (2011) menjelaskan bahwa pelepasan gula dari eceng gondok biomassa juga meningkat sebagai fungsi waktu pemaparan gelombang ultrasonik.



Gambar 2.6 Pelepasan gula sesuai dengan waktu hidrolisis eceng gondok

Hal ini dikarenakan pretreatment ultrasonikasi telah menyebabkan sel-sel bengkak dan tumpang tindih dengan sel-sel yang berdekatan. Beberapa sel meledak akibat overswelling diinduksi oleh pasokan panas konstan dari proses pretreatment. Ketika sel-sel runtuh struktur biomassa telah melemah dan kandungan sel (kelembaban, organel) dihilangkan. Komponen lignocellulosic dalam biomassa eceng gondok air dibebaskan dan menjadi lebih mudah diakses untuk eksploitasi dalam proses berikutnya.

Yunus *et al* (2010) menjelaskan bahwa dengan bantuan gelombang ultrasonik dapat memulihkan 52% *xylose* dari biomassa serat tandan kelapa sawit dengan durasi sonikasi selama 45 menit.

Judawisastra (2016), dengan penelitian berjudul “Karakteristik Sifat Tarik Serat Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)”, mendapatkan hasil bahwa penggunaan serat bambu sebagai penguat dalam material komposit menarik banyak perhatian karena sifat tarik spesifiknya tinggi, ramah lingkungan, sumber dapat terbaharui. Sifat tarik dievaluasi berdasarkan posisi sumber serat, yaitu ketinggian dan kedalaman radial batang bambu. Proses ekstraksi serat sebagai kombinasi ekstraksi mekanik dan perlakuan alkali. Distribusi serat pada penampang melintang bambu diamati dengan observasi visual dan

analisis citra penampang melintang. Morfologi dan diameter serat diperoleh dengan mikroskop optik dan SEM. Sifat tarik serat yang ditentukan dengan uji tarik pada bundel serat. Kristalinitas serat dan kandungan selulosa serat dikarakterisasi dengan XRD dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Distribusi serat tertinggi berada di tepi luar batang. Serat bambu petung terdiri dari bundel dengan diameter 195-361 μm dan serat ultimate dengan diameter 14,5-14,7 μm . Bundel serat bambu petung memiliki kekuatan tarik sebesar 179-310 MPa dan kuat tarik 4,6-7,9 GPa. Nilai kekakuan dan nilai kuat tarik bundel serat bambu petung tertinggi diperoleh dari serat yang berasal dari bagian bawah tepi luar batang. Hal ini disebabkan tingginya tingkat kristalinitas dan kandungan selulosa dari serat.

Berdasarkan pertinjauan dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa perlakuan menggunakan gelombang ultrasonik dapat mengubah karakteristik dari *natural fiber*. Pengaruh gelombang ultasonik telah memberikan efek positif dalam peningkatan kadar selulosa proses *pretreatment*. Kekuatan dan kekakuan dari suatu serat alam tergantung pada kandungan selulosanya. Di sisi lain, semakin lama pemaparan gelombang ultrasonik maka lignin yang didegradasi lebih banyak jumlahnya. Hal ini berkaitan dengan efek panas yang dihasilkan selama waktu pemaparan gelombang ultrasonik. Penggunaan perlakuan gelombang ultrasonik dengan daya dan waktu yang optimum akan menghasilkan karakteristik serat penguat yang baik untuk komposit. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengamati dan menganalisis pengaruh variasi waktu pretreatment menggunakan gelombang ultrasonik pada serat bamboo petung (*Dendrocalamus Asper*) terhadap kekuatan tarik komposit bermatrik *epoxy*.

2.2 Waktu Pretreatment

Untuk kondisi tetap lainnya, durasi sonikasi memiliki dampak terbesar pada pretreatment yang dicapai. Peningkatan durasi sonikasi meningkatkan delignifikasi biomassa dan pelepasan gula darinya, tetapi memperpanjang sonikasi di luar durasi tertentu tidak menghasilkan manfaat tambahan dalam hal delignifikasi dan pelepasan gula (Sun, 2002).

Durasi sonikasi menyebabkan tekanan cairan akan bertambah. Akibat perubahan tekanan ini, maka gelembung-gelembung gas atau uap yang biasanya ada di dalam cairan akan terkompresi pada saat tekanan cairan naik dan akan tereksansi atau mengembang pada saat tekanan cairan turun. Pada saat gelembung mengembang, gelembung tersebut membawa uap atau gas dan akan terbentuk kavitasi gelembung yang mampu menghancurkan

dinding sel sehingga membebaskan kandungan senyawa yang ada di dalamnya, dan pemanasan lokal pada cairan dan meningkatkan difusi ekstrak. Energi kinetik ditransfer keseluruh cairan menghasilkan munculnya gelembung kavitasi di dinding atau di permukaan, sehingga meningkatkan transfer massa antara permukaan padat cair (Fanggidae, 2013). Hubungan energi kinetik dengan waktu pretreatment dalam proses delignifikasi dapat dirumuskan sebagai berikut (Yang et al, 2009):

$$\ln \left(1 - \frac{C}{C_0} \right) = -kt \dots \dots \dots (2-1)$$

$$\frac{C}{C_0(C_0 - C)} = kt \dots \dots \dots (2-2)$$

$$\frac{1}{C} = a \frac{1}{t} + b \dots \dots \dots (2-3)$$

dengan:

C = konsentrasi lignin (g/L)

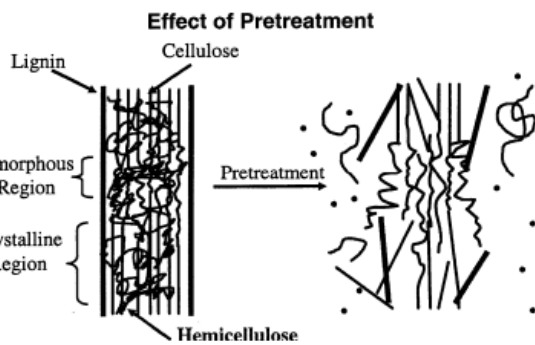
k, a, b = kinetic rate constant

C₀ = konsentrasi awal lignin (g/L)

t = waktu (menit)

2.3 Pretreatment

Pretreatment adalah proses penting untuk proses konversi selulosa secara praktis. *Pretreatment* diperlukan untuk mengubah struktur biomassa selulosa untuk membuat selulosa lebih mudah diakses oleh alkali yang mengubah polimer karbohidrat menjadi gula yang dapat difermentasi seperti yang diwakili dalam Gambar 2.7. Tujuannya adalah untuk memecahkan ikatan lignin dan mengganggu struktur kristal selulosa. *Pretreatment* juga memiliki potensi besar untuk peningkatan efisiensi dan penurunan biaya melalui penelitian dan pengembangan (Lynd et al., 1996; Lee et al., 1994; Kohlman et al., 1995; Mosier et al., 2003).

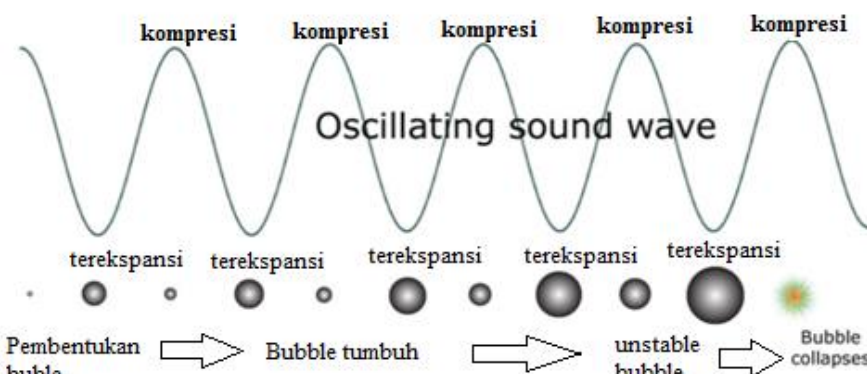


Gambar 2.7 Skema tujuan *pretreatment* pada bahan *lignocellulosic*

Sumber: Hsu et al (1980)

2.4 Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik umumnya memiliki rentang frekuensi 20 kHz sampai 500 MHz. Sonikasi proses mekanis yang dihasilkan dari adanya gelombang ultrasonik yang bekerja pada sistem. Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas. Proses perambatannya secara longitudinal dengan arah rambat sejajar. Sehingga, karakteristik gelombang ultrasonik tersebut mengakibatkan getaran partikel secara periodik. Karena prosesnya kontinyu maka dapat menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*strain*) dan tegangan (*stress*) (Thomas dkk, 2011).

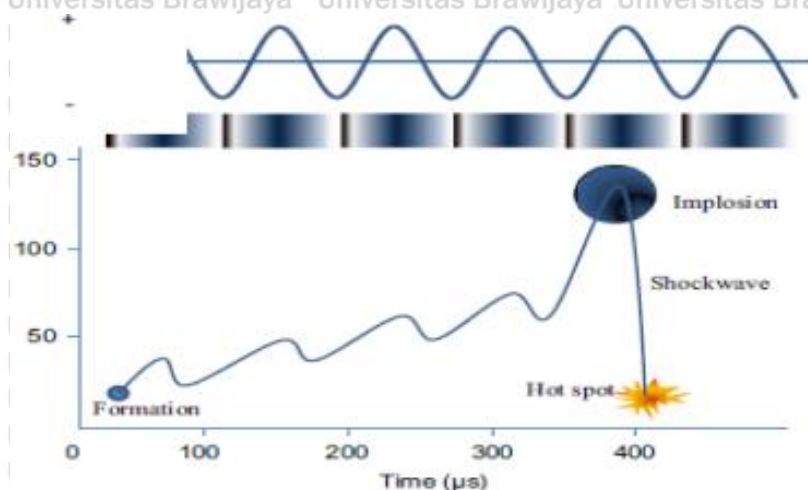


Gambar 2.8. Mekanisme kavitasi yang diakibatkan oleh gelombang ultrasonik

Sumber: Thomas dkk (2011)

Efek gelombang ultrasonik menyebabkan tekanan cairan tersebut akan bertambah dari keadaan semula pada saat gelombang tersebut mempunyai amplitudo positif dan akan berkurang pada saat amplitudo negatif. Akibat perubahan tekanan ini, maka gelembung-gelembung gas atau uap yang biasanya ada di dalam cairan seperti pada Gambar 2.8 akan

terkompresi pada saat tekanan cairan naik dan akan terekspansi atau mengembang pada saat tekanan cairan turun.



Gambar 2.9 Pertumbuhan gelembung ketika proses sonikasi berlangsung
Sumber: Suslick (1994)

Pada saat gelembung mengembang, gelembung tersebut membawa uap atau gas. Dengan tenaga yang cukup tinggi, proses ekspansi bisa melebihi gaya tarik molekul-molekul dalam larutan dan akan terbentuk kavitas gelembung. Selain itu, peristiwa kavitas dapat diakibatkan oleh ketidakstabilan gelembung karena adanya interferensi dari gelembung lain yang terbentuk dan beresonansi di sekitarnya. Akibatnya beberapa gelembung mengalami ekspansi mendadak sehingga pecah dengan hebat seperti pada Gambar 2.9, peristiwa kavitas dengan pecahnya gelembung menyebabkan timbulnya reaksi sonochemical (pembentukan radikal)(Suslick, 1989).

Cara kerja ultrasonikasi adalah dengan mengekstraksi menggunakan gelombang ultrasonik yang terbentuk secara lokal dari kavitas mikro di sekitar bahan yang diekstraksi, menyebabkan terjadi pemanasan pada bahan yang diekstraksi sehingga melepaskan senyawa ekstrak. Efek ganda yang dihasilkan: penghancuran dinding sel sehingga membebaskan kandungan senyawa yang ada di dalamnya, dan pemanasan lokal pada cairan dan meningkatkan difusi ekstrak. Energi kinetik ditransfer keseluruh cairan menghasilkan munculnya gelembung kavitas di dinding atau di permukaan, sehingga meningkatkan transfer massa antara permukaan padat - cair (Fanggidae, 2013).

Kavitas akustik adalah pertumbuhan *microbubble* dalam media cair selama proses sonikasi karena tekanan suara yang dihasilkan oleh sejumlah energi suara yang tersebar di dalam cairan. *Microbubbles* mengalami siklus pembentukan, pertumbuhan, dan runtuh

dalam media cair (Suslick, 1994). Hal ini menghasilkan *hot spot* pendek dengan pemanasan lokal yang intensif hingga 5000 K, tekanan hingga 1000 bar, pemanasan dan pendinginan di atas 1010 K/s (Suslick, dkk, 1989). Siklus dari pembentukan hingga keruntuhan gelembung di dalam *liquid* diilustrasikan sebagai berikut:

Kavitasi akustik terjadi di dalam gelembung yang runtuh (kimia fase gas), di bagian luar gelembung (kimia fase larutan) dan pada antarmuka cair - padat (transformasi fisik) (Xu et al., 2013). Efek kimia dan fisik ultrasonik disebabkan oleh fenomena kavitasi dan bukan interaksi langsung antara kimia dan gelombang ultrasonik (Xu et al., 2013) dan (Suslick, 1997). Efek kimia ultrasonik adalah hasil dari ledakan keruntuhan *microbubbles* dan pembentukan radikal bebas, sedangkan efek fisik adalah hasil dari gelombang kejut dan microjet yang dihasilkan dalam pembuatan kavitasi simetris dan asimetris.

Gelombang kompresi dan ekspansi menempatkan cairan di bawah tegangan tarik dinamis. Akibatnya, tekanan lokal menurun cukup di bawah tekanan uap jenuh dan memicu kavitasi (Hickel, 2013). *Microbubble* yang ada dalam cairan menyerap energi dari gelombang ultrasonik dan mengalami pertumbuhan berlebih yang cepat yang menyebabkan keruntuhan hebat. Tahap terakhir dari keruntuhan ini hampir adiabatik dan memberikan kondisi ekstrim (Lorimer, 1987).

Telah diamati bahwa ultrasonik dapat meningkatkan reaktivitas kimia suatu sistem, bertindak sebagai katalis untuk lebih mengaktifkan atom dan molekul dalam sistem. Juga dalam reaksi yang melibatkan bahan padat, gelombang ultrasonik dapat memecah padatan dari energi yang dihasilkan akibat pecahnya gelembung kavitasi. Efek yang diberikan adalah memberikan luas permukaan yang lebih besar pada komponen reaktan padat untuk mempercepat reaksi (Suslick, 1994).

Menurut George dkk (2006) berkaitan dengan reaksi kimia, kavitasi dapat mempengaruhi hal berikut:

- Mengurangi waktu reaksi. Hal ini disebabkan oleh pada proses kavitasi berlangsung dihasilkan suhu dan tekanan yang sangat ekstrim yang dapat meningkatkan terjadinya reaksi.
- Meningkatkan selektivitas
- Membangkitkan radikal bebas. Adanya proses pembangkitan radikal disebabkan oleh proses kavitasi terjadi pada bagian bulk dari sistem. Sehingga pada proses bubble collapse dapat terbentuk atom hidrogen dan radikal hidroksil.

Ketika suhu reaksi berubah, sifat - sifat cairan juga mengalami perubahan, seperti viskositas, tegangan permukaan, kecepatan suara, dan tekanan uap air. Ini mempengaruhi

reaksi dan komposisi kimia. Saat suhu meningkat, tekanan uap di dalam gelembung meningkat ledakan kavitasi terjadi. Karena ledakan kavitasi ini, suhu lokal di dalam rongga lebih rendah daripada suhu keseluruhan. Akibatnya, radikal yang terbentuk pada tiap gelembung kavitasi menjadi lebih sedikit. Selain itu, adanya tekanan uap yang lebih tinggi juga memudahkan terbentuknya gelembung-gelembung. Secara umum, dengan meningkatnya suhu reaksi, laju pembetukan radikal melambat. Oleh karena itu, sonikasi umumnya menunjukkan perilaku yang berbanding terbalik dengan dengan reaksi-reaksi radikal secara umum (Suslick, 1994).

Energi yang dihasilkan oleh sonikator sangat tinggi sehingga kondisi ini memungkinkan air untuk berubah menjadi radikal hidroksil dan atom hidrogen. Radikal hidroksil sangat reaktif untuk membentuk hidrogen peroksida. Dengan adanya oksigen, reaksi atom hidrogen dengan oksigen membentuk radikal hidroperoksil.

Proses delignifikasi yang menggunakan alkali dapat ditingkatkan dengan bantuan sonikasi. Berkat gelombang ultrasonik, persentase lignin dan persentase hemiselulosa yang hilang semakin meningkat bahkan dapat merusak struktur selulosa. Ultrasonik dalam media cair menciptakan kavitasi akustik. Selama kavitasi ketidakstabilan gelembung, yaitu meledaknya gelembung kecil akibat suara sehingga mengakibatkan peristiwa *hotspot* berenergi sangat tinggi terjadi. Suhu dan tekanan yang sangat tinggi dapat merusak struktur kristal dari bahan padat (Filson, 2009).

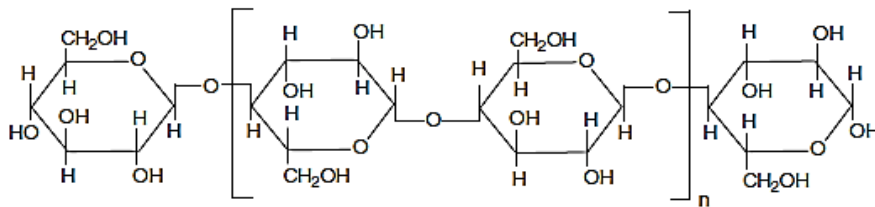
2.5 Serat

Serat adalah satu dari berbagai jenis material penguat (*reinforcement*) yang akan berikatan pada komponen pengikat (matriks). Serat berperan dalam menentukan kekuatan dan kekakuan komposit. Hal ini dikarenakan, fungsi utama dari material penguat adalah sebagai penahan beban dari suatu komposit. Pada komposit, serat menahan beban sekitar 70%-90% dari total beban yang diterima oleh komposit (Mazumdar, 2002). Serat dapat menahan gaya karena dua alasan:

1. Ikatan yang baik dan kuat antara serat dan matriks (*interfacial bonding*) mencegah terjadi pelepasan antara matriks dan serat (*debonding*).
2. Rasio Aspek, merupakan rasio atau perbandingan antara panjang serat terhadap diameter serat cukup besar.

Serat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan asalnya, yaitu serat alami (*natural fiber*) dan serat sintetis (*synthetic fiber*). Serat alami yang tergolong dalam kayu atau non kayu memiliki komposisi utama selulosa dan lignin. Jumlah selulosa dalam lignoselulosa dapat

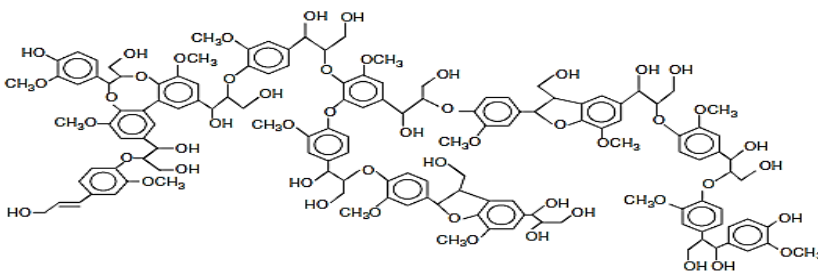
bervariasi tergantung pada spesies dan umur tanaman. Selulosa adalah polisakarida semi-kristal, yang hadir di alam dalam bentuk serat dengan lebar dari 5 sampai 20 μm dan panjang kurang lebih 0,5 hingga beberapa milimeter. Selulosa merupakan *hydrophilic glucan* polymer yang terdiri dari rantai linier unit 1,4- β anhydroglucose yang mengandung gugus *alcoholic hydroxyl*. Kelompok hidroksil akan membentuk ikatan hidrogen antarmolekul dan intramolekul dengan makromolekul selulosa atau molekul polar. Secara kimia maka struktur dari selulosa dapat dijelaskan pada Gambar 2.7



Gambar 2.10 Struktur Selulosa

Sumber: Mohanty (2005)

Kandungan lignin dan unsur kayu pada setiap tumbuhan memiliki jumlah yang berbeda-beda tergantung pada jenis tumbuhannya. Lignin berfungsi sebagai pengikat komponen lainnya dalam tumbuhan, utamanya pada bagian batang, sehingga batangan mampu membuat pohon berdiri tegak. Struktur kimia lignin memiliki pola yang berbeda dan kompleks. Lignin termasuk dalam gugus aromatik, hal ini saling menghubungkan dengan rantai alifatik dan tersusun dari 2-3 karbon. Hasil dari proses prirolisis pada lignin menghasilkan senyawa seperti fenol dan kresol yang termasuk senyawa kimia aromatis.



Gambar 2.11 Struktur lignin

Sumber: Mohanty (2005)

2.5.1 Alkalisasi Serat

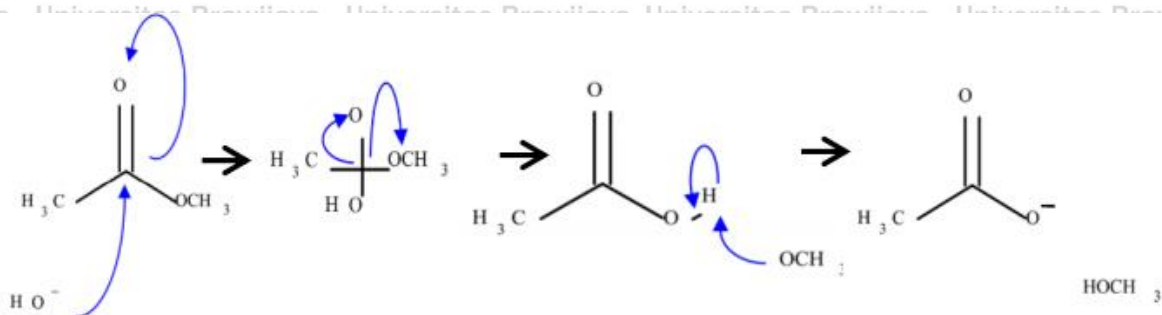
Alkalisasi pada serat merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan serat berkualitas tinggi dengan cara merendamkan serat ke dalam larutan basa alkali. Tujuan

alkalisasi pada serat untuk memperoleh ikatan yang baik antara permukaan serat dengan matrik. Alkali terbagi menjadi tiga macam larutan, yaitu KOH, NaOH, dan LiOH. NaOH merupakan larutan yang sering digunakan untuk memodifikasi serat alam. Reaksi alkalisasi NaOH pada serat yaitu: $\text{Serat-OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Serat-O}^- \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$.

Proses alkalisasi bertujuan untuk menghilangkan lignin (delignifikasi) yang menempel pada selulosa, sehingga hanya menyisakan selulosa pada serat bambu petung. Alkalisasi didasarkan pada prinsip hidrasi, yang dapat menyebabkan pembengkakan serat selulosa. Tingkat pembengkakan tergantung pada jenis alkali yang digunakan. Julfana Rika (2012) menyatakan bahwa hemiselulosa dapat diekstraksi menggunakan pelarut seperti NaOH, NH_4OH dan KOH. Dari ketiga pelarut tersebut, yang paling baik digunakan adalah NaOH. Alkali (NaOH) dapat memperlebar pori - pori terkecil di antara bidang - bidang jaringan selulosa dan menembus batas maksimum, sehingga memberikan tingkat pembengkakan paling tinggi. Alkalisasi mengarah pada pembentukan jaringan selulosa baru dan pembengkakan yang lebih tinggi dapat mengubah gugus OH selulosa menjadi gugus O^- , meningkatkan diameter molekul. Selanjutnya, pembilasan dengan air juga dilakukan untuk menghilangkan ion Na dan mengubahnya menjadi *crystalline* selulosa yang lebih tinggi (Teli, 2015).

Reaksi utama yang terjadi selama proses delignifikasi adalah pemutusan ikatan antara lignin dan beberapa hemiselulosa. Ikatan ester antara asam ferulat (lignin) dan karbohidrat (hemiselulosa) sangat mudah diputus oleh ion OH karena disosiasi NaOH. Mekanisme delignifikasi diilustrasikan pada Gambar 2.9, dimana ion OH^- menyerang karbon yang terikat pada ester. Kemudian, ketika sebuah atom oksigen bermuatan negatif mengeluarkan alkoksida (OCH_3) dari asam karboksilat, tetrahedral terbentuk secara cepat akan runtuh. Alkoksida yang diproduksi dalam reaksi yang sangat cepat yang bertindak sebagai deprotonisasi asam karboksilat (Modenbach, 2013).

Ion Na^+ berikatan dengan lignin untuk membentuk natrium fenolat yang bersifat mudah larut. Temperatur larutan pemasak selama proses delignifikasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju reaksi pelarutan lignin, selulosa dan hemiselulosa. Jika konsentrasi larutan pemasak yang digunakan rendah dan suhu yang digunakan sesuai, selulosa tidak akan rusak selama proses pelarutan lignin. Pemakaian suhu di atas 180°C menyebabkan degradasi selulosa lebih tinggi, dimana pada suhu ini lignin telah habis terlarut dan sisa bahan pemasak akan mendegradasi selulosa (Casey 1980).



Gambar 2.12 Mekanisme pemutusan ikatan antara lignin dan selulosa menggunakan NaOH
Sumber: Putra dan Ini (2017)

Pada penelitian ini delignifikasi menggunakan larutan NaOH. Hal ini dikarenakan larutan ini dapat merusak struktur lignin pada bagian kristalin dan amorf serta memisahkan beberapa hemiselulosa. Karena struktur hemiselulosa yang amorf, NaOH dapat digunakan untuk menghilangkan lignin sekaligus mengekstraksi hemiselulosa. Dalam penelitian Safaria (2013), larutan NaOH mampu menyerang dan merusak struktur lignin pada bagian kristalin dan amorf sekaligus memisahkan beberapa hemiselulosa.

Dengan berkurangnya lignin maupun komponen penyusun serat lainnya seperti hemiselulosa akan meningkatkan kekuatan serat. Hal ini dikarenakan kekasaran permukaan serat akan semakin meningkat, sehingga menghasilkan ikatan mekanik yang baik antara serat dan matrik.

2.6 Bambu

Sebagai salah satu negara tropis di dunia, Indonesia memiliki potensi sumber daya bambu. Di Indonesia, bambu dapat ditemukan di daerah pedesaan dan hutan. Bambu dapat tumbuh di semua jenis tanah kecuali daerah pesisir. Bambu dapat ditemukan dari dataran rendah hingga dataran tinggi, dari perbukitan terjal hingga lereng landai (Sastrapraja, et al., 1977). Bambu di Indonesia ditemukan di dataran rendah hingga pegunungan sekitar 300 m di atas permukaan laut, dan umumnya ditemukan di ruang terbuka dan daerah di mana bebas dari genangan air. Bambu hidup merumpun. Terkadang mereka berbaris membentuk suatu garis pembatas desa yang identik dengan batas desa di Jawa.

Bahan bambu terkenal dengan sifatnya yang baik, termasuk batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut. Selain itu, bambu juga relatif murah dibandingkan dengan bahan bangunan lain yang umum digunakan di sekitar pemukiman pedesaan. Bambu

merupakan tanaman serbaguna bagi masyarakat di desa. Bambu digunakan dalam berbagai konstruksi termasuk rumah, gudang, jembatan, tangga, pipa air, tangki air, peralatan rumah tangga. Dalam bentuk belahan dapat dibuat gubuk, dinding atau lantai, palang, pagar, kerajinan tangan, dan lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir, jenis bambu tertentu telah banyak digunakan dalam industri sumpit, kerajinan, peralatan dapur, topi, tas, alat musik, gorden dll. Pada umumnya bambu tali, bambu petung, bambu andong dan bambu hitam yang digunakan masyarakat Indonesia.



Gambar 2.13 Bambu



Gambar 2.14 (a) Serat bambu, (b) struktur serat

Dalam penggunaannya di masyarakat, bahan bambu kadang-kadang menemui beberapa keterbatasan. Faktor yang sangat mempengaruhi bahan bambu sebagai bahan bangunan adalah sifat fisik bambu membuatnya sulit untuk dikerjakan, variasi ukuran dan ketidakseragaman panjang ruasnya serta ketidakawetan bahan bambu tersebut menjadikan bambu tidak dipilih sebagai bahan komponen rumah. Sering ditemui barang-barang yang berasal dari bambu yang dikuliti khususnya dalam keadaan basah mudah

diserang oleh jamur biru dan bulukan sedangkan bambu bulat utuh dalam keadaan kering bisa terkena serangan rayap.

Menurut Widjaja (2001), bambu Indonesia mencakup 143 jenis. Diperkirakan hanya ada 60 jenis bambu di Jawa. Dari spesies yang ditemukan di Jawa, 16 spesies juga tumbuh di pulau lain. Ada 26 spesies eksotik, 14 di antaranya hanya tumbuh di Kebun Raya Bogor dan Cibodas. Pada tahun 2000, area budidaya bambu di Indonesia diperkirakan mencapai 2.104.000 ha, termasuk 690.000 ha di dalam kawasan hutan, dan 1.414.000 ha bambu yang ditanam di luar kawasan hutan (FAO dan INBAR, 2005). Selain itu, bambu banyak ditanam sebagai bagian dari pengembangan hutan lokal dengan memberikan Kredit Usaha Hutan Rakyat, terutama di daerah yang menjadi jantung industri bambu.

Bambu termasuk dalam famili *Gramineae* (rumput-rumputan), disebut juga *Giant Grass* (rumput raksasa), termasuk beberapa batang (alang – alang) yang berangsur – angsur tumbuh dari rebung sampai batang muda, dan dewasa pada umur 4 hingga 5 tahun. Selama pertumbuhan, bambu dapat tumbuh vertikal dengan kecepatan 5cm per jam atau 120 cm per hari (Morisco, 1999). Karena masa panennya yang relatif singkat, bambu bisa dengan mudah dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Morisco (1999) mengemukakan bahwa keberadaan serabut sklerenkim pada batang bambu meningkatkan ketahanan bambu dan dapat digunakan sebagai bahan bangunan. Kekuatan bambu dipengaruhi oleh jumlah serat sklerenkim dan selulosa di dalam bambu. Kekuatan bambu bagian luar jauh lebih tinggi dibandingkan bambu. Penelitian oleh Morisco (1999), diambil sampel bambu tanpa buku untuk memperoleh serat yang lurus pada pengeringan tungku menghasilkan kuat tarik sebesar 4170 kg/cm² untuk bambu bagian luarnya 1640 kg/cm² untuk bambu bagian dalam.

Secara anatomis, batang bambu tersusun dari sekitar 50% parenkim, 40% serat, dan 10% sel pengikat (pembuluh dan *floem*) Dransfield dan Widjaya (1995). Kandungan parenkim dan sel pengikat banyak ditemukan pada bagian dalam batang. Sebaliknya serat lebih banyak ditemukan pada bagian luar. Susunan serat pada ruas pengikat antarbuku cenderung membesar dari bawah ke atas, dan parenkim cenderung menurun.

Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dan fisik bambu adalah umur, posisi tinggi, diameter, tebal bambu, posisi beban (pada buku atau ruas), posisi radial dari ruas, dan kelembaban di dalam bambu. Tabel 2.2 menunjukkan hasil pengujian sifat fisis dan mekanis bambu hitam (*Gigantochloa nigrocillata* Kurz) dan bambu apus (*Gigantochloa apus* Kurz) oleh Ginoga (1977).

Tabel 2.2

Sifat Fisis Dan Mekanis Bambu Hitam dan Bambu Apus

No.	Sifat	Bambu Hitam	Bambu Apus
1.	Keteguhan lentur statik:		
	Tegangan pada batas proporsi (kg/cm^2)	447	327
	Tegangan pada batas patah (kg/cm^2)	663	546
	Modulus elastisitas (kg/cm^2)	99000	101000
	Usaha pada batas proporsi (kg/dm^3)	1,2	0,8
	Usaha pada batas patah (kg/dm^3)	3,6	3,3
2.	Keteguhan tekan sejajar serat (tegangan max, kg/cm^2)	489	
3.	Keteguhan geser (kg/cm^2)	61,4	39,5
4.	Keteguhan tarik tegak lurus serat (kg/cm^2)	28,7	28,3
5.	Keteguhan belah (kg/cm^2)	41,4	58,2
6.	Berat Jenis:		
	KA pada saat pengujian	0,83	0,69
	KA : 28%		KA : 19,11%
	KA kering tanur	0,65	0,58
	KA : 17%		KA : 16,42%
7.	Keteguhan pukul:		
	Pada bagian dalam (kg/dm^3)	32,53	45,1
	Arah tangensial (kg/dm^3)	31,76	31,9
	Pada bagian luar (kg/dm^3)	17,23	31,5

Sumber : Ginoga (1977)

Kajian sifat kimia bambu dilakukan oleh Gusmailina dan Sumadiwangsa (1988), meliputi penentuan kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, silika, dan kelarutannya dalam air dingin, air panas dan alkohol benzena. Hasil pengujian menunjukkan kadar selulosa 42,4% - 53,6%, kadar lignin bambu 19,8% - 26,6%, kadar pentosan 1,24% - 3,77%, dan kadar abu 1,24% - 3,77%, kandungan silika 0,10% - 1,78%, kandungan ekstraktif (kelarutan dalam air dingin) 4,5% - 9,9%, kandungan ekstraktif (kelarutan dalam air panas) 5,3% - 11,8%, kandungan ekstraktif (kelarutan dalam alkohol benzena) 0,9% - 6,9%. Tabel 2.3 menunjukkan hasil analisis kimia dari 10 jenis bambu.

Tabel 2.3
Analisis Kimia 10 Jenis Bambu

No.	Jenis Bambu	Kelarutan dalam (%)							
		Selulosa (%)	Lignin (%)	Pentosan (%)	Abu (%)	Silik a (%)	Air dingin	Air panas	Alkohol-benzene NaOH 1%
1.	Phyllostachys reticulata (bambu madake)	48,3	22,2	21,2	1,24	0,54	5,3	9,4	4,3
2.	Dendrocalamus asper (bambu petung)	52,9	24,8	18,8	2,63	0,20	4,5	6,1	0,9
3.	Gigantochloa apus (bambu batu)	52,1	24,9	19,3	2,75	0,37	5,2	6,4	1,4
4.	Gigantochloa nigrociliata (bambu batu)	52,2	26,6	19,2	3,77	1,09	4,6	5,3	2,5
5.	Gigantochloa verticillata (bambu peting)	49,5	23,9	17,8	1,87	0,52	9,9	10,7	6,9
6.	Bambusa vulgaris (bambu ampel)	45,3	25,6	20,4	3,09	1,78	8,3	9,4	5,2
7.	Bambusa bambos (bambu bambos)	50,8	23,5	20,5	1,99	0,10	4,6	6,3	2,0
8.	Bambusa polymorpha (bambu kyathang)	53,8	20,8	17,7	1,83	0,32	4,9	6,9	1,9
9.	Cephalostachyum pergraciles (bambu tinwa)	48,7	19,8	17,5	2,51	0,51	9,8	11,8	6,7
10.	Melocanna bambusoides	42,4	24,7	21,5	2,19	0,33	7,3	9,7	4,0

Sumber: Gusmailina dan Sumadiwangsa (1988)

2.6.1 Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)

Dendrocalamus asper (Bambu Betung) adalah bambu yang sangat kuat dengan ruas pendek, tetapi memiliki dinding yang tebal sehingga tidak terlalu liat. Bambu jenis ini memiliki garis tengah 80-130 mm, panjang batang 10-20 m. Jenis bambu ini biasanya tumbuh pada ketinggian 1900 m di atas permukaan laut. Di Indonesia, bambu betung ditanam di Perkebunan Bambu Nusa Verde Sleman, DIY Jogjakarta, dan pada Desa Cengkrong, Kecamatan Pasrepan, Kabupaten Pasuruan. Untuk kualitas bambu terbaik, bambu betung dipanen saat umur 4 tahun.

Tabel 2.4

Komposisi Kimia Beberapa Serat Bambu

Species	Holocellulose (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)
<i>Phyllostachys makinoi</i>	79,9	45,3	25,5
<i>Phyllostachys edulis</i> (Riv.)	-	44,5	20,5
<i>Yunnanicus bamboo</i>	70,3	52,7	25,5
<i>Whangee bamboo</i>	70,2	52,4	23,2
<i>Dendrocalamus asper</i>	74,0	-	28,5
<i>Gigantochloa scortechinii</i>	67,4	-	26,4

Sumber: Khalil (2005)

Tabel 2.5

Properties Bambu Petung Yang Digunakan

Properties	Keterangan
Umur	4 tahun
Kadar Lignin	19,04 %
Asal Bambu	Desa Wagir, Malang
Panjang	290 mm / bilah bambu

Bambu betung memiliki serat dengan panjang 4,69 mm. Serat panjang ini membentuk ikatan yang lebih baik antarserat, menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dan transmisi cahaya lebih sedikit (Widya dan Euis, 2008; Haygreen dan Bowyer, 1996). Ketebalan dinding serat dari bambu ini tipis, yaitu 0,009 mm, yang akan memudahkan serat untuk melembek dan menjadi pipih sehingga memberikan permukaan yang luas bagi terjadinya ikatan antar serat, akibatnya kekuatan tariknya meningkat (Casey 1980; Widya dan Euis, 2008). Bambu betung memiliki nilai kehalusan yang tinggi (rasio diameter lumen terhadap diameter serat), yang menjadikan sifat lentur serat meningkat akibatnya pembentukan ikatan antarserat lebih baik. (Tamolang dan Wangaard 1961 dalam Ramdhani 1994).

Menurut Manuhuwa dan Loiwtu (2007), bambu betung (*Dendrocalamus asper*) mengandung holocelulosa (73,63%), lignin (27,37%) dan ketebalan dinding sel serat (0,90 mikron). Ketebalan dinding sel memiliki pengaruh besar terhadap penyusutan. Semakin tebal dinding sel, semakin besar penyusutan yang terjadi. Selain faktor ketebalan dinding sel, faktor lain yang berhubungan dengan kadar air bambu adalah jumlah sel pori. Sel pori mengandung lebih banyak air daripada sel serat.

Tabel 2.6

Mechanical Properties Dendrocalamus Asper

Sifat	Nilai
Densitas	1.38 (g/cm ³)
Diameter	366 μ m
Tensile Strength	639-813 Mpa
Young's Modulus	33 Gpa
Elongation at Break	2-7.5 %

Sumber: Khalil (2005)

Bambu betung memiliki kelarutan sangat rendah dalam etanol benzena, yakni 0,91 %. Namun, rasio zat terlarut dalam 1M NaOH setinggi 24,06 %. Zat terlarut dalam alkohol benzena meliputi resin, lemak, lilin dan tanin, sedangkan zat terlarut NaOH meliputi lignin, pentosan dan heksosan. Adanya zat ekstraktif dalam bentuk minyak dan lemak dapat mengurangi kekuatan ikatan antar serat, meningkatkan konsumsi alkali dan memperlambat proses delignifikasi (Widya dan Euis, 2008). Di sisi lain, keberadaan lignin menyebabkan sifat kegetasan dan menghalangi resin meresap secara penuh pada serat bambu, sehingga ikatan antara serat dan matriks tidak cukup kuat dan mempengaruhi kekuatannya selama uji tarik (Arfie, 2010).

Kandungan holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) dalam Bambu Betung juga tinggi yaitu 74.0%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4. Kandungan selulosa yang tinggi mengindikasikan serat yang kuat, warna pulp lebih putih, dan relatif tahan terhadap bahan kimia dalam proses pemisahan dan pemurniannya, serta tidak larut dalam pelarut organik netral dan air (Casey 1980). Semakin tinggi hemiselulosa, semakin fleksibel serat. Ini penting dalam proses penggilingan. Seratnya lebih mengambang dan plastis karena kapasitas penyerapannya tinggi. Serat plastis menyebabkan luas permukaan yang tinggi saat pembentukan pulp (Widya dan Euis, 2008). Tabel 2. 5. menunjukkan sifat mekanik dan fisik dari bambu betung.

2.7 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan material untuk menahan beban tarik tanpa kerusakan, dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum yang dimiliki material sebelum mengalami patah. Kekuatan tarik dapat diperoleh dengan melakukan uji tarik dengan memperhatikan dan mencatat perubahan tegangan juga regangan. Kegagalan suatu elemen

biasanya disebabkan oleh beban yang diberikan pada elemen yang melebihi kekuatan materialnya. Kekuatan bahan dapat dibagi menjadi dua jenis: kekuatan tarik dan kekuatan mulur. Kekuatan suatu bahan dapat diperoleh dari pengujian tarik, biasa dikenal dengan uji tarik. Uji tarik merupakan salah satu pengujian material yang paling banyak digunakan di dunia (Budiman, 2016). Uji tarik dapat digunakan untuk memperoleh nilai kekuatan tarik, elongasi, kekuatan mulur, elastisitas, dan pengurangan luas penampang.

2.7.1 Uji Tarik

Uji tarik digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang kekuatan material dan sebagai uji spesifikasi material. Dalam uji tarik, spesimen dibebani gaya tarik searah sumbu secara kontinu.

2.7.2 Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan - regangan dijelaskan sebagai berikut:

1. Tegangan tarik merupakan distribusi gaya tarik persatuan luas bahan, dirumuskan:

$$\sigma_T = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2-4)$$

dengan:

σ_T = Tegangan tarik (MPa)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

2. Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal, dirumuskan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots (2-5)$$

dengan:

ε = Regangan (%)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

l_0 = Panjang awal (mm)

3. Kekuatan Tarik

$$\sigma_{Tmax} = \frac{F_{max}}{A} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$\sigma_{Tmax} = \frac{W + \gamma AL}{A} = \frac{W}{A} + \gamma L \dots \dots \dots (2-7)$$

dengan:

σ_{Tmax} = Tegangan tarik (MPa)

F_{max} = Gaya tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (mm^2)

W = berat beban ditambah berat spesimen (W_0)

γ = berat jenis spesimen

L = panjang spesimen

Sumber: Gere dan Timoshenko (1972)

Hampir semua bahan dalam tahap pengujian tarik berkaitan dengan beban atau gaya yang bekerja pada bahan uji yang sebanding dengan perubahan panjang bahan. Ini disebut daerah linier. Di daerah linier ini, kurva penambahan panjang terhadap beban sebagai berikut:

“Rasio tegangan dan regangan adalah konstan” sehingga hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2-7)$$

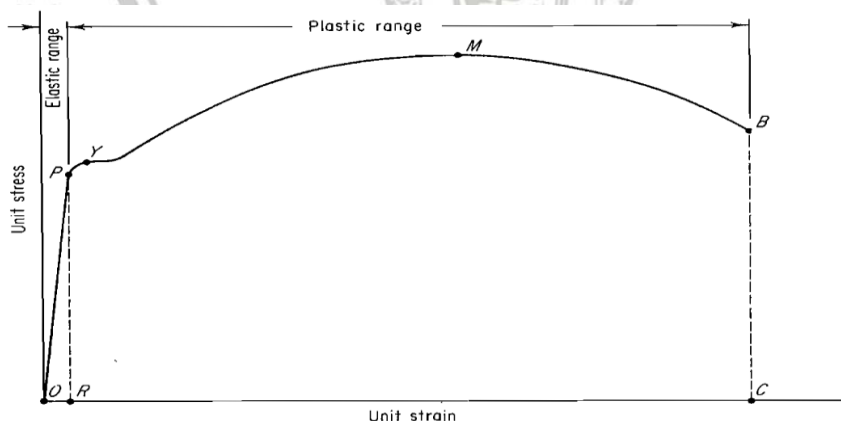
Dengan:

E = Modulus elastisitas (GPa)

σ = Tegangan (MPa)

ϵ = Regangan (%)

Selain dengan rumus, diagram tegangan - regangan dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara tegangan dan regangan berdasarkan hasil uji tarik sebagai berikut:



Gambar 2.13 Hubungan tegangan dengan regangan

Sumber: Avner (1974)

Dengan asumsi uji tarik dari titik 0 ke titik B searah panah pada Gambar 2.13, melihat hasil uji tarik diatas maka dijelaskan istilah - istilah yang berkaitan dengan sifat mekanik bahan sebagai berikut:

1. Daerah Elastis (*Elastic range*)

Pada gambar diatas ditunjukkan dengan daerah pada titik 0 ke titik R. Daerah terjadinya deformasi elastis dimana kenaikan tegangan dan regangan berbanding lurus, sehingga membentuk kurva yang linier atau nilai perubahan tegangan dan regangan sama.

2. Batas Proporsional (P)

Titik sampai dimana penerapan hukum *Hooke* masih bisa ditoleransi. Tidak ada standarisasi mengenai nilai ini. Dalam praktik biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis yang merupakan batas dari keseimbangan antara pertambahan tegangan dan regangan.

3. Tegangan Luluh (*Yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase peralihan deformasi elastis ke plastis.

4. Daerah Plastis

Daerah terjadinya deformasi plastis yang terjadi setelah *yield strength* sampai *fracture*. Kenaikan tegangan dan regangan merupakan fungsi polinomial sampai titik ultimate strength kemudian putus sampai *fracture*.

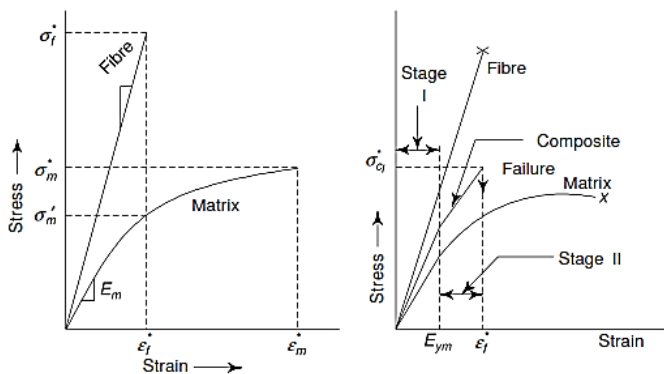
5. *Ultimate Tensile Strength* (M)

Titik terjadinya tegangan-regangan tertinggi yang dapat dicapai material atau spesimen. Pada saat titik *ultimate* (M), spesimen mengalami *necking* (pengecilan penampang) dengan diikuti penurunan tegangan, tapi tetap bertambah panjangnya sampai akhirnya putus.

6. Fracture (B)

Titik terjadinya patahan pada material atau spesimen.

Dalam bukunya Material Science, Kakani (2004) menulis kurva tegangan regangan untuk komposit. Pada dasarnya komposit merupakan gabungan dari dua bahan yang bersifat *brittle* (*fiber*) dan bersifat *ductile* (*matrix*). Grafik tersebut menunjukkan bahwa kurva tegangan - regangan komposit terletak ditengah kurva antara kurva tegangan - regangan serat dan matriks. Hal ini terjadi karena komposit merupakan gabungan dari serat dan matriks yang saling melengkapi, sehingga membentuk suatu material baru yang lebih sesuai.



Gambar 2.14 Grafik tegangan regangan polimer

Sumber: Kakani (2004)

2.8 Komposit

Menurut Matthews *et al.*, pada tahun 1993, komposit adalah suatu bahan yang dibentuk dengan menggabungkan dua atau lebih bahan penyusun dengan campuran yang heterogen, dan masing-masing bahan penyusunnya memiliki sifat mekanik yang berbeda. Campuran ini menciptakan material komposit dengan sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari bahan penyusunnya. Komposit memiliki sifat material konvensional, umumnya dari proses manufaktur melalui percampuran heterogen, sehingga kita bisa deluasa merencanakan kekuatan komposit yang diinginkan dengan mengontrol komposisi material strukturalnya. Komposit adalah sistem multifasa dengan sifat dengan gabungan, artinya kombinasi antara matriks atau pengikat dengan penguat.

Untuk menghindari kesalahan pemahaman bahwa komposit berbeda dari paduan, Van Vlack (1994) menjelaskan :

- Paduan adalah kombinasi dari dua atau lebih bahan di mana bahan - bahan ini menyatu.
- Komposit adalah kombinasi teknis dari dua atau lebih bahan yang memiliki sifat yang diinginkan melalui kombinasi sistematis dari kandungan yang beda.

Pengertian lain adalah komposit merupakan kombinasi dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara mikroskopis dimana bahan penyusunnya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan aktif diantara keduanya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Mikell, 1996).

Material komposit adalah struktur material yang terbentuk pada skala makroskopik dan terdiri dari kombinasi dua atau lebih material yang menyatu secara fisik. Unsur – unsur yang membentuk suatu komposit disebut penguat (*reinforcement*) berupa serat atau partikel dan

bahan pengisi (matriks). Fungsi matriks adalah untuk mengikat serat – serat menjadi satu, menahannya pada posisinya dan melindunginya dari pengaruh lingkungan luar (Autar, 2006).

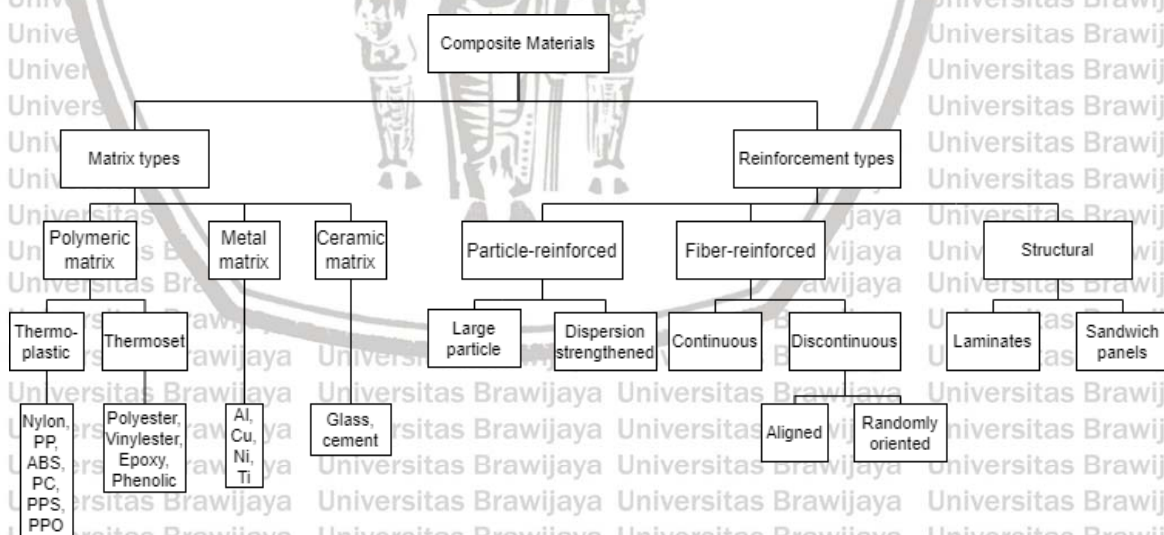
Menurut Jones dengan bukunya berjudul *Mechanics of Composite Material* (1999), komposit merupakan dua atau lebih material yang tidak sejenis yang secara makroskopis digabungkan menjadi material yang berguna. Bahan – bahan tersebut mempertahankan sifat mereka dalam komposit. Artinya, mereka saling tidak larut atau sepenuhnya terkait satu sama lain. Secara umum, komponen bisa diidentifikasi secara fisik dan mewakili antarmuka satu sama lain.

Secara umum, material komposit terdiri dari dua jenis material:

1. Penguat umumnya berbentuk serat dengan sifat kurang ulet tetapi lebih kuat dan kaku.
2. Matriks lebih ulet namun nilai kekuatan dan kekakuannya lebih rendah.

2.9 Klasifikasi Komposit

Material komposit diklasifikasikan menurut jenis penguatnya (*reinforcement*) dan matriks yang digunakan sebagai material pembentuk komposit, seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.15 Klasifikasi komposit

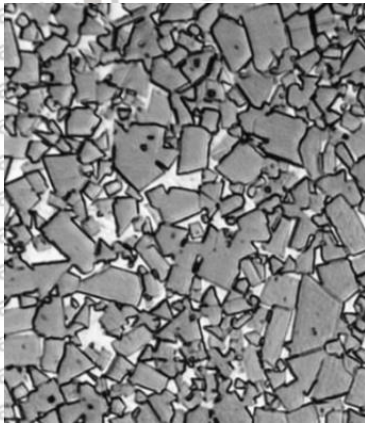
Sumber: Priyanka 2017

2.9.1 Komposit Berdasarkan Jenis Penguat (*reinforcement*)

1. Komposit Partikel (*Particle-reinforced composite*)

Komposit Partikel merupakan jenis komposit dengan memanfaatkan partikel sebagai pengisi (*filler*) yang tersebar secara merata dalam matriksnya. Umumnya partikel ini berbentuk bola, kubik, tetragonal maupun tidak beraturan. Partikel ini tidak memiliki ukuran panjang. *Particle-reinforced* dibedakan menjadi dua, yaitu partikel besar (*large particle*) dan *dispersion strengthened*. Perbedaan antara *large particle* dengan *dispersion-strengthened* didasarkan pada mekanisme penguatan. Istilah *large* menunjukkan bahwa interaksi partikel-matriks tidak dapat terjadi pada tingkat molekul.

Mekanisme penguatannya bergantung pada ikatan antarmuka partikel-matriks. Untuk komposit *dispersion-strengthened* biasanya memiliki ukuran diameter 0,01mm dan 0,1mm. interaksi partikel-matriksnya terjadi pada tingkat molekul serta mekanisme penguatannya serupa dengan mekanisme pengerasan presipitasi. Berikut ini merupakan *photomicrograph* dari material komposit WC-Co, dimana area yang berwarna cerah merupakan cobalt yang berfungsi sebagai matrik dan area yang berwarna gelap merupakan tungsten sebagai partikel, seperti pada Gambar 2.16. (Callister, 2007)



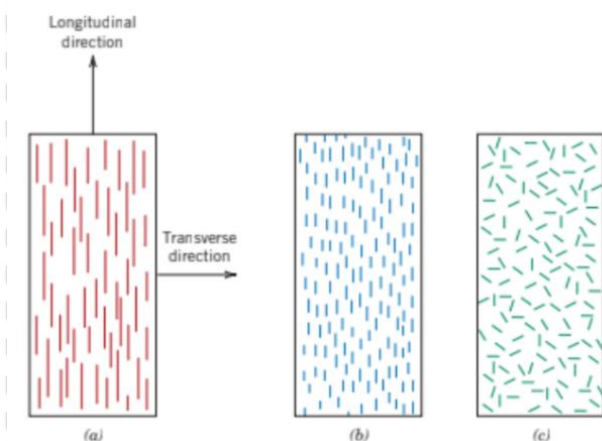
Gambar 2.16 Photomicrograph of WC-Co

Sumber: Callister (2007)

2. Komposit Serat (*Fiber-reinforced composite*)

Komposit Serat merupakan komposit yang tersusun dari matrik dan berpenguat serat. Komposit ini hanya terdiri dari satu lamina (lapisan) menggunakan serat sebagai penguat. Komposit berpenguat serat dibagi menurut panjang serat seperti pada Gambar 2.17, yakni serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*discontinuous fiber*).

Untuk serat pendek dapat dibedakan berdasarkan arah orientasinya, yaitu searah (*aligned*) dan acak (*randomly oriented*).

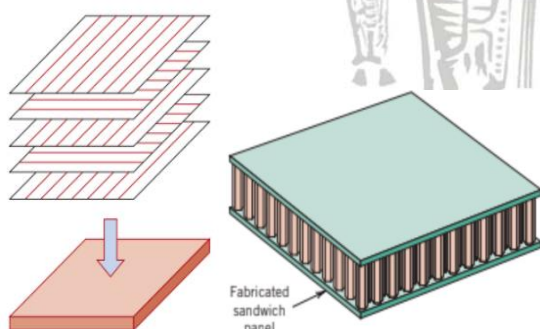


Gambar 2.17 Skema serat a) Serat panjang, b) Serat pendek orientasi searah (aligned), c) Serat pendek orientasi acak (randomly oriented)

Sumber: Callister (2007)

3. Komposit Struktural (*Structural Composite*)

Komposit Struktural merupakan salah satu komposit yang terdiri dari dua atau lebih material berbeda, lalu direkatkan bersama-sama dengan menggabungkan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk mendapatkan material yang memiliki sifat yang lebih baik. Komposit laminier dan *sandwich panels* dalam Gambar 2.18 merupakan dua dari komposit struktural yang paling umum. Pembuatan komposit laminier dapat menggunakan dua cara, yakni *dry lamination* atau *wet lamination*.



Gambar 2.18 (a) Komposit laminier dan (b) *Sandwich panels*

Sumber: Callister (2007)

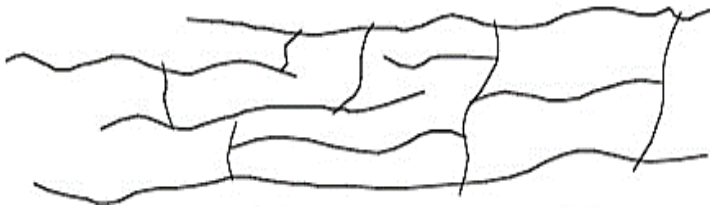
2.9.2 Komposit Berdasarkan Jenis Matrik

1. Komposit Matrik Polimer (*Polymeric-matrix composite*)

Matrik polimer banyak digunakan dalam dunia manufaktur karena fleksibilitas dan mudahnya pengolahan. Matrik polimer menurut sifatnya dibedakan menjadi

Thermoset Resin dan Thermoplastic Resin.

A. Thermoset Resin



Gambar 2.19 Tampak penampang samping ikatan molekul thermoset resin saat pengawetan
Sumber: Mazumdar (2002)

Karakteristik thermoset resin yakni apabila telah mengalami pengerasan maka matrik tidak dapat dilunakkan kembali. Hal ini dikarenakan *thermoset* tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversible*). Ketika proses pengerasan *thermoset resin* akan membentuk ikatan *crosslink* seperti pada Gambar 2.19. Ikatan *crosslink* adalah ikatan rantai linier yang berdekatan dihubungkan satu sama lain pada berbagai variasi letak oleh ikatan kovalen. Proses *crosslinking* dicapai baik selama sintesis atau oleh reaksi kimia yang tidak dapat diubah. Seringkali, *crosslinking* ini dicapai oleh atom aditif atau molekul yang terikat dengan rantai. Ikatan *crosslink* menyebabkan material komposit menjadi tidak elastis, tidak dapat dicairkan atau dilunakkan serta tidak dapat dilakukan pembentukkan ulang. Semakin banyak ikatan molekul yang terbentuk maka komposit yang dihasilkan akan memiliki sifat kestabilan thermal dan kekakuan yang semakin baik. *Thermoset resin* yang paling sering digunakan adalah *epoxy*, *polyester*, *phenolics*, *cyanate esters*, *bismaleimids*, serta *polymides*.

Thermoset resin memiliki beberapa keunggulan, seperti: kestabilan bentuk dan thermal yang baik, kekakuan yang baik, ketahanan terhadap lingkungan sekitar pun baik.

Tabel 2.7

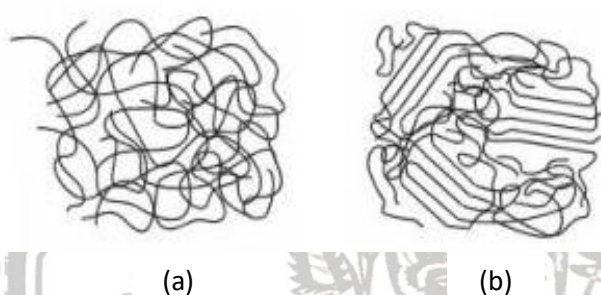
Typical Unfilled Thermosetting Resin Properties

Resin material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus GPa (10 ⁶ psi)	Tensile Strength MPa (10 ³ psi)
Phenolic	1,2-1,4	2,7-4,1 (0,4-0,6)	35-60 (5-9)
	1,2-1,4	1,6-4,1 (0,23-0,6)	35-95 (5,0-13,8)
Epoxy	1,2-1,4	2,3-5,0(0,36-0,72)	50-110 (7,2-16)

Sumber: Mazumdar (2002)

B. Thermoplastic Resin

Thermoplastic resin adalah polimer yang mengeras ketika didinginkan. Termoplastik akan meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversible*) kepada sifat aslinya. Secara umum *thermoplastic resin* bersifat ulet dan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *thermoset resin*. *Thermoplastic resin* biasanya digunakan untuk pembuatan material tanpa filler dan penguat. Polimer jenis ini tidak akan membentuk ikatan molekuler seperti *thermoset resin*. Bentuk dari *thermoplastic resin* dapat berupa *amorphous* maupun *semicrystalline* seperti pada



Gambar 2.20 Bentuk molekuler (a) *amorphous* dan (b) *semicrystalline* polimer

Sumber: McHargue (1991)

Tabel 2.8

Typical Unfilled Thermoplastic Resin Properties

<i>Resin material</i>	<i>Density</i> (g/cm ³)	<i>Tensile Modulus</i> GPa (10 ⁶ psi)	<i>Tensile Strength</i> MPa (10 ³ psi)
<i>Nylon</i>	1,1	1,3-3,5 (0,2-0,5)	55-90 (8-13)
<i>PEEK</i>	1,3-1,35	3,5-4,4 (0,5-0,6)	100 (14,5)
<i>PPS</i>	1,3-1,4	3,4 (0,49)	80 (11,6)
<i>Polyester</i>	1,3-1,4	2,1-2,8 (0,3-0,4)	55-60 (8-8,7)
<i>Polycarbonate</i>	1,2	2,1-3,5 (0,3-0,5)	55-70 (8-10)
<i>Acetal</i>	1,4	3,5 (0,5)	70 (10)
<i>Polyethylene</i>	0,9-1,0	0,7-1,4 (0,1-0,2)	20-35 (2,9-5)
<i>Teflon</i>	2,1-2,3	-	10-35 (1,5-5,0)

Sumber: Mazumdar (2002)

2. Komposit Matrik Logam (*Metal-matrix composite*)

Komposit Matrik Logam yang dikembangkan di industri otomotif adalah salah satu jenis material komposit matriks logam. Bahan tersebut diperkuat dengan serat seperti silikon karbida menggunakan logam seperti aluminium sebagai matriks.

3. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic-matrix composite*)

Ceramic-matrix composite menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (whiskers) yang terbentuk dari silikon karbida atau boron nitrida. Matrik yang biasa digunakan pada CMC adalah gelas anorganik, keramik gelas, alumina dan silikon nitrida. Salah satu proses manufaktur CMC adalah proses DIMOX, yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam guna mendorong pertumbuhan matriks keramik disekitar area penguat.

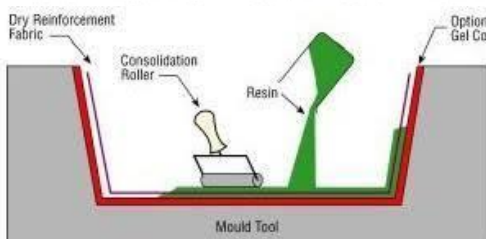
2.10 Metode Manufaktur Komposit

Pada dasarnya, metode manufaktur komposit mencakup dua proses: proses cetakan terbuka (*open-mold process*) dan proses cetakan tertutup (*close-mold process*).

1. Proses Cetakan Terbuka (*Open-mold process*)

a. *Contact Molding / Hand Lay Up*

Hand lay-up adalah cara paling sederhana dan merupakan proses cetakan terbuka dari proses fabrikasi komposit. Adapun proses dari pembuatan dengan cara ini adalah dengan menuangkan resin kedalam serat berbentuk anyaman, rajutan atau kain, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin langsung bersentuhan dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 2.21

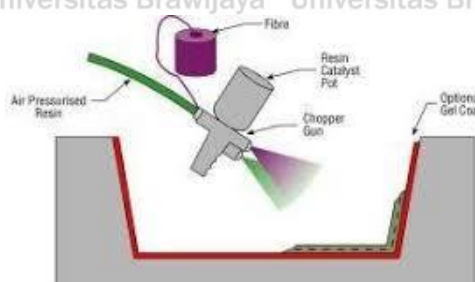


Gambar 2.21 Proses *Hand lay up*

Sumber: David (2010)

b. *Spray-up*

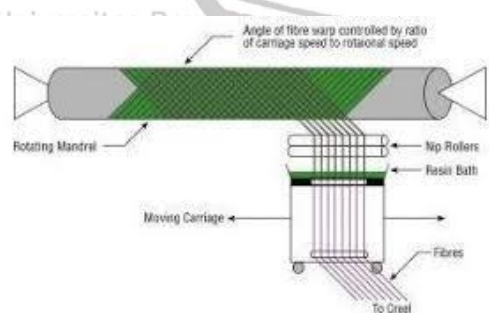
Spray-up merupakan metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks ekonomis dari *hand lay-up*. Proses *spray-up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat (*fiber*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan. Wadah tempat pencetakan *spray-up* telah disiapkan sebelumnya. Setelah itu proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar.



Gambar 2.22 Proses *Spray up*
Sumber: David (2010)

c. *Filament Winding*

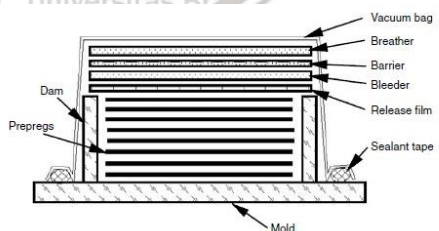
Fiber tipe roving atau *single strand* dilewatkan melalui wadah yang berisi resin, kemudian *fiber* tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah, arah radial dan arah tangensial. Proses ini dilakukan berulang, sehingga cara ini didapatkan lapisan serat dan *fiber* sesuai dengan yang diinginkan. Resin termoseting yang biasa digunakan pada proses ini adalah poliester, vinil ester, epoxies, dan fenolat.



Gambar 2.23 Proses *Filament Winding*
Sumber: David (2010)

d. Vacuum Bag

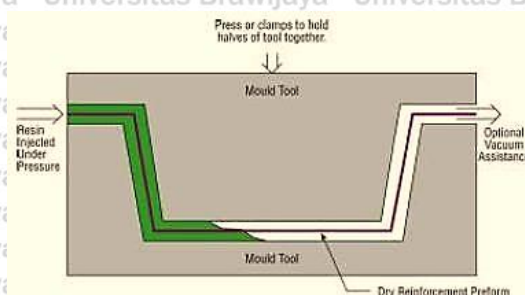
Proses *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari *hand lay up*. Penggunaan dari proses ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin. Pada proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada di dalam wadah atau tempat dimana komposit akan dilakukan proses pencetakan. Dengan memvakumkan udara dalam wadah maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan ke arah dalam. Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit dapat diminimalkan. Metode vakum memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik, dan kontrol yang lebih antara lapisan dan resin.



Gambar 2.24 Vacuum Bag
Sumber: Mazumdar (2002)

e. Pressure Bag

Pressure Bag memiliki kesamaan dengan metode vakuum bag. Perbedaannya adalah metode ini tidak memakai pompa vakum tetapi menggunakan udara atau uap bertekanan yang dialirkan melalui suatu wadah elastis. Wadah elastis ini akan berkontak pada komposit yang akan diberikan proses. Besar tekanan yang diberikan pada proses ini sebesar 30 psi sampai 50 psi.

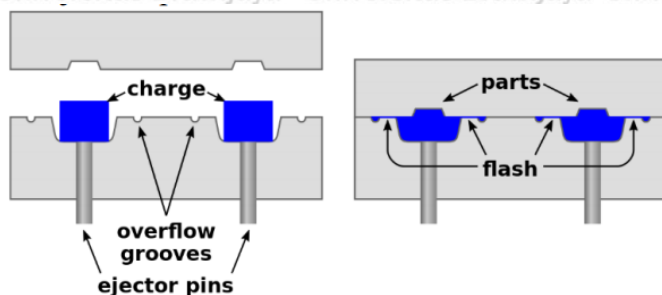


Gambar 2.25 Pressure Bag
Sumber: Mazumdar (2002)

2. Proses Cetakan Tertutup (*Close-mold process*)

a. Proses Cetakan Tekan (*Compression Molding*)

Proses cetakan ini menggunakan *hydraulic* sebagai penekannya. *Fiber* yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan. Resin termoset khas yang digunakan dalam proses cetak tekan ini adalah poliester, vinil ester, epoxies, dan fenolat.

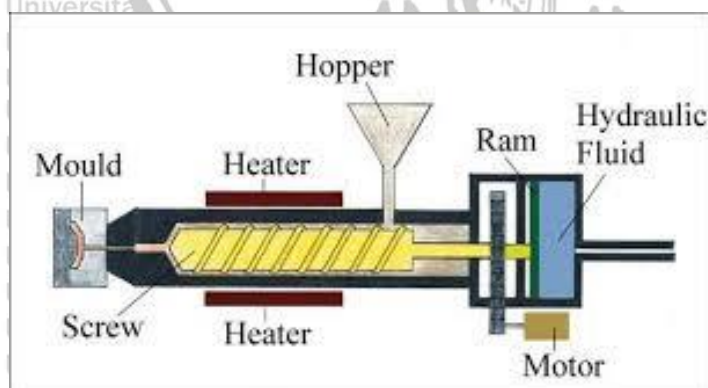


Gambar 2.26 Proses *Compression Molding*

Sumber: David (2010)

b. Injection Molding

Metode *injection molding* juga dikenal sebagai reaksi pencetakan cairan atau pelapisan tekanan tinggi. Fiber dan resin dimasukkan kedalam rongga cetakan bagian atas, kondisi temperature dijaga supaya tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta fiber akan mengalir ke bagian bawah, kemudian injeksi dilakukan oleh mandrel ke arah nozel menuju cetakan.

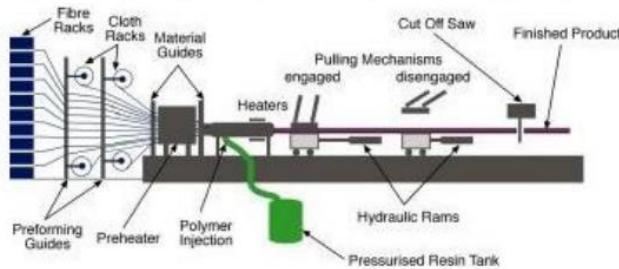


Gambar 2.27 Proses *Injection Molding*

Sumber: David (2010)

C. Continuous Pultrusion

Fiber jenis *roving* dilewatkan melalui wadah berisi resin, kemudian secara kontinu dilewatkan ke cetakan pra cetak dan diawetkan (*cure*), kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Atau juga bisa disebut sebagai penarikan serat dari suatu jaring atau *creel* melalui bak resin, kemudian dilewatkan pada cetakan yang telah dipanaskan. Fungsi dari cetakan tersebut ialah mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengeraskan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan.

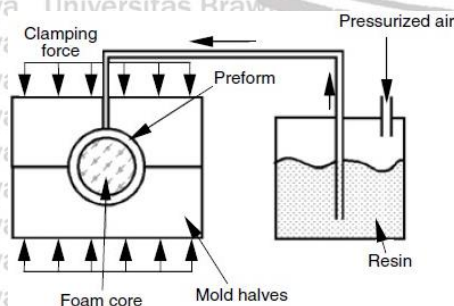


Gambar 2.28 Proses Continuous Pultrusion

Sumber: David (2010)

d. Resin Transfer Molding (RTM)

Resin Transfer Molding (RTM) atau biasa disebut resin infusikan adalah metode pembuatan komposit dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Setelah lembaran-lembaran antara resin dan matrik sudah terbentuk, vacuum akan menghisap sisa-sisa resin yang tertinggal sehingga lembaran komposit yang terbentuk memiliki ketebalan yang sama.



Gambar 2.29 Resin Transfer Molding

Sumber: Mazumdar (2002)

2.11 Cacat Pada Komposit

Cacat dapat terjadi pada prosuk komposit yang dihasilkan selama proses manufaktur. Berikut ini adalah berbagai macam cacat yang sering terjadi pada komposit sehingga menurunkan kualitas produk serta sifat mekaniknya:

1. Cacat material, merupakan cacat yang terjadi sebelum material penyusun komposit mengalami proses manufaktur, antara lain:
 - a. Cacat serat: terjadi akibat kualitas serat yang kurang optimal, serat tersobek, terlipat, maupun berlubang akan mempengaruhi kualitas dari produk komposit yang dihasilkan.
 - b. Cacat matrik: terjadi pada matrik sebelum dicampurkan dengan serat. Cacat ini terjadi akibat komposisi campuran matrik yang tidak sesuai sehingga matrik memasuki *gelling time* sebelum tersebar merata.
2. Cacat produk, merupakan cacat yang terjadi pada produk komposit setelah mengalami proses pembuatan dan manufaktur komposit, diantaranya:
 - a. *Porosity/void*: terbentuk karena adanya gelembung udara yang terperangkap pada produk komposit pada saat proses *curing* akibat kurang meratanya resin yang dicampurkan pada permukaan *fiber*.
 - b. *Resin rich*: terjadi akibat terlalu banyak resin yang diberikan sehingga melewati batas idealnya.
 - c. *Resin starved*: terjadi akibat kurangnya resin yang diberikan pada serat sehingga komposit kekurangan resin.
 - d. Delaminasi: terjadi karena terpisahnya lamina satu dengan lainnya sehingga menurunkan sifat mekanisnya.
 - e. *Fiber wrinkle*: diimana serat pada produk komposit mengalami pengerutan di dalam komposit.
 - f. *Excess resin*: terdapat penumpukan matrik pada salah satu bagian komposit.
 - g. *Improper pressure*: tekanan yang diberikan pada komposit saat proses *curing* tidak sesuai.
 - h. *Debonding*: terjadi karena kurang kuatnya ikatan antar matrik dan serat sehingga kekuatan komposit menurun.
 - i. *Shrinkage*: terjadi akibat penyusutan dimensi sehingga tidak sesuai dengan dimensi awal.

2.12 Matriks

Matriks adalah fasa komposit dengan fraksi volume terbesar (dominan). Fungsi matriks adalah untuk memberikan tegangan yang seragam pada serat, melindungi serat dari gesekan mekanis, memegang dan mempertahankan serat pada tempatnya, melindunginya dari lingkungan dan tetap stabil bahkan setelah proses produksi.

Dalam buku yang berjudul *Mechanic of Composite Material*, Jones (1995:5) menjelaskan fungsi utama dari matrik pada komposit, antara lain:

1. Mempengaruhi karakteristik material komposit secara keseluruhan, seperti keuletan, ketangguhan, dan kekuatan tariknya.
2. Mencegah ataupun memperlambat terjadinya *retak* dengan cara mengisolasi serat-serat, sehingga masing-masing serat dapat bekerja secara terpisah dalam menahan gaya.
3. Merekatkan serat-serat pada komponen komposit dan menyampaikan gaya yang diterima oleh material menuju serat, sehingga matrik merupakan salah satu komponen pendukung dalam penentuan bentuk dan kekakuan material komposit.
4. Melindungi serat terhadap gangguan kimiawi dan mekanis (*wear resistance*).

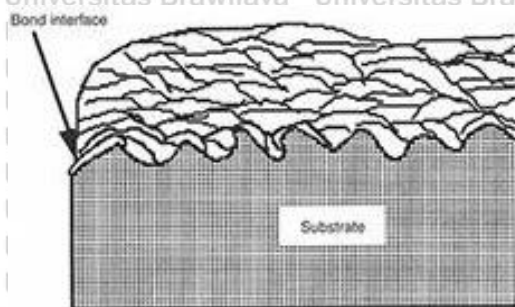
Matrik pada umumnya memiliki karakteristik densitas, kekakuan, dan kekuatan yang lebih rendah dari serat penguat. Dengan adanya penggabungan antara serat dan matriks akan didapatkan kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi, namun masih memiliki densitas yang rendah. Matrik yang dapat digunakan dalam pembuatan komposit dapat berupa polimer (*polymer matrix composite*), logam (*metal matrix composite*), dan keramik (*ceramic matrix composite*).

2.13 Teori Ikatan Matrik dengan Serat Penguat

Ketika matrik melapisi dan melekat pada serat penguat, terjadi ikatan antar serat dan matriks. Berikut beberapa jenis ikatan yang terbentuk:

1. Ikatan Mekanik (*Mechanical Bonding*)

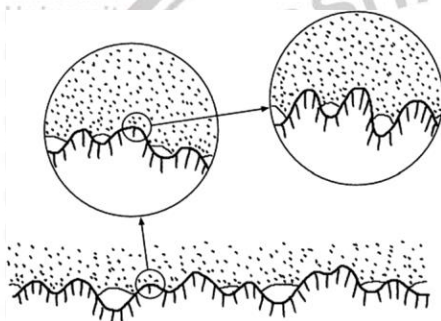
Matrik cair menyebar ke seluruh permukaan serat penguat, mengisi setiap celah dan permukaan serat. Serat penguat yang kasar akan saling mengikat. Sehingga semakin kasar permukaan serat, semakin kuat ikatannya.



Gambar 2.30 Ikatan mekanik
Sumber: Matthew and Rawling (1994)

2. Ikatan Elektrostatik (*Electrostatic Bonding*)

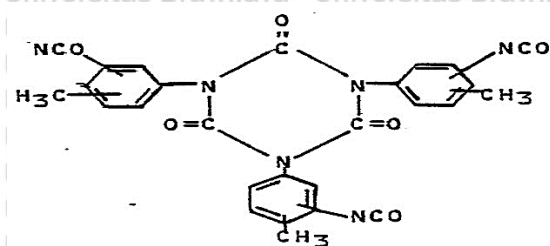
Ketika salah satu permukaan antara matrik dan serat penguat mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, terjadi ikatan elektrostatik sehingga terjadi tarik-menarik antara dua permukaan tersebut.



Gambar 2.31 Ikatan Elektrostatik
Sumber: Matthew and Rawling (1994)

3. Ikatan Reaksi (*Reaction Bonding*)

Atom atau molekul dari dua komponen pada komposit dapat bereaksi di permukaan. Ikatan ini membentuk lapisan permukaan dengan sifat yang berbeda dari kedua komponen tersebut. Ikatan ini dapat terjadi karena atom-atom permukaan berdifusi ke dalam komponen komposit.

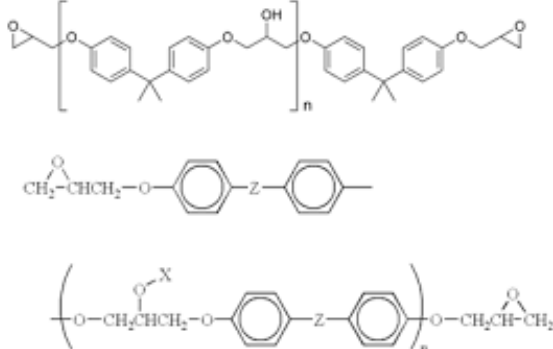


Gamabr 2.32 Ikatan reaksi
Sumber: Matthew and Rawling (1994)

2.14 Epoxy

Resin epoksi terdiri dari dua komponen, yaitu Epoksi A resin dan Epoksi B *hardener*.

Resin epoksi ini berbentuk padat dan cairan kental. Ketika resin ini digabungkan atau dicampurkan dengan *hardener*, resin bereaksi dengan *hardener* untuk membentuk polimer ikatan silang (*crosslink*), sehingga terjadi pengerasan resin *epoxy*. *Curing time* yang dihasilkan oleh resin ini tergantung pada *hardener* yang digunakan. Struktur kimia serta spesifikasi dari resin epoxy A dan B dapat dilihat pada Gambar 2.33 dan Tabel 2.9– 2.10



Gambar 2.33 Struktur Kimia Resin Epoksi A dan B

Sumber: Clayton, *Epoxy Resins: Chemistry and Technology* (1987)

Tabel 2.9

Spesifikasi Resin Epoksi

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
Viskositas (di 25°C)	16000-20000	mPa.s
Epoksi <i>equivalent</i>	184-204	g/equiv
<i>Hydrolyzable chlorine content</i>	<0,05	%
<i>Colour according to the Gardner scale</i>	12-15	-

Sumber: PT. Justus Kimia Raya, *Data sheet* (2003)

Tabel 2.10

Spesifikasi *Hardener* Epoksi

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
Kekuatan tarik	410	kgf/cm ²
Kekuatan fleksural	810	kgf/cm ²
Kekuatan tekan	740	kgf/cm ²
Kekuatan geser adesif	160	kgf/cm ²

Sumber: PT. Justus Kimia Raya, *Data sheet* (2003)

2.15 Hipotesis

Berdasarkan penjelasan di atas maka didapatkan hipotesis bahwa pengaruh waktu sonikasi saat proses pretreatment sonikasi-alkali NaOH menyebabkan kekuatan tarik komposit akan meningkat seiring bertambahnya waktu pretreatment. Hal ini dikarenakan adanya perubahan struktur lignin dan hemiselulosa sehingga ikatan antara serat dengan epoksi meningkat. Pemberian perlakuan berupa pretreatment menggunakan gelombang ultrasonik dalam larutan alkali NaOH menyebabkan serat kehilangan lignin, hemiselulosa, dan kandungan lain serta perubahan struktur lignoselulosa. Hal ini disebabkan oleh efek runtuhnya kavitas yang terjadi selama gelombang ultrasonik dialirkan. Hasilnya, serat memiliki permukaan yang lebih kasar dan berongga. Semakin kasar permukaan serat akan menghasilkan ikatan mekanik antar serat dan matrik lebih baik sehingga meningkatkan kekuatan tarik komposit. Akan tetapi, peningkatan waktu sonikasi juga akan menyebabkan serat menjadi rusak sehingga dititik tertentu kekuatan tarik akan menurun.





HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental sebenarnya digunakan untuk mengetahui pengaruh waktu *pretreatment* menggunakan gelombang ultrasonik pada serat bambu petung (*Dendracalamus asper*) terhadap kekuatan tarik komposit bermatrik epoxy.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Januari 2021 – Juli 2021. Tempat yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

1. Pembuatan Komposit : Laboratorium Pengecoran Logam Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Uji Tarik Serat Tunggal : Laboratorium Evaluasi Tekstil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
3. Uji Tarik Komposit : Laboratorium Riset Material Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Foto Wettability : Laboratorium Pengecoran Logam Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
5. Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) : Laboratorium Sentral Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
6. Uji Lignin : Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat Malang

3.3 Variabel Penelitian

Ada 3 variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain.

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah waktu *pretreatment* 30 menit, 45 menit, 60 menit dengan daya 60 watt.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas yang digunakan. Variabel terikat dari penelitian ini ialah nilai kekuatan tarik komposit maksimum rata-ratanya.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya tidak berubah dan dijaga agar tetap konstan selama proses penelitian. Variabel terkontrol yang digunakan yaitu:

- Material yang digunakan sebagai matriks adalah *epoxy* diberi *hardener* dengan perbandingan 2 resin *epoxy* : 1 *hardener*.
- Material serat bambu petung yang digunakan adalah 2 gram.
- Fraksi volume komposit 10 mm³
- Perendaman serat menggunakan NaOH dengan konsentrasi 1 N.
- Daya pemanasan serat menggunakan *ultrasonic cleaner* 60 watt.
- Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *vacuum assisted resin infusion*.
- Orientasi serat yang digunakan searah.
- Panjang serat 165 mm dengan diameter serat 0,3 mm – 0,5 mm

3.4 Bahan dan Peralatan yang Digunakan

3.4.1 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a) Resin

Resin merupakan cairan kental yang berfungsi sebagai perekat dari penguat komposit dan ditunjukkan oleh gambar 3.1. Resin yang digunakan adalah resin *epoxy A* tipe EPR 174. Resin *epoxy* ini disuplai oleh PT. Justus Kimia Raya.



Gambar 3.1 Resin Epoxy

Spesifikasi resin *epoxy* dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1

Spesifikasi *Liquid Standart Epoxy Resin Based On Bisphenol - A*

<i>Properties</i>	<i>Unit</i>	<i>Value</i>
<i>Viscosity at 25°C</i>	MPa.s	13.000 ± 2.000
<i>Epoxy Number</i>	%	$22,7 \pm 0,6$
<i>Epoxy Equivalent</i>	g/equiv.	189 ± 5
<i>Epoxy value</i>	equiv./100g	$0,53 \pm 0,01$
<i>Total Chlorine Content</i>	%	$< 0,2$
<i>Hydrolyzable Chlroine Content</i>	%	$< 0,05$
<i>Colour According to the Gardener Scale</i>		< 1
<i>Density at 25°C</i>	g/cm ³	$1,17 \pm 0,01$
<i>Refractive Index at 25°C</i>		$1,572 \pm 0,003$
<i>Volatile Content at 3 h, 140°C</i>	%	$< 0,2$
<i>Vapour Pressure at 80°C</i>	mbar	$< 0,1$
<i>Flash Point According to DIN 51584</i>	°C	> 250

Sumber : PT. Justus Kimia Raya (2003)

b) Katalis

Katalis biasa disebut dengan *hardener* dan berfungsi untuk mempercepat proses pembekuan resin. Gambar 3.2 menunjukkan botol yang berisi *hardener epoxy*. Hardener yang digunakan adalah *hardener* tipe EPH 556. Berwarna bening dan memiliki viskositas yang sangat rendah (1 poise) serta daya tahan panas yang tinggi. *Hardener* ini disuplai oleh PT. Justus Kimia Raya.



Gambar 3.2 *Hardener epoxy*

c) Penguat

Penguat adalah material yang berfungsi sebagai penahan beban yang bekerja pada komposit. Penguat dalam komposit ini adalah serat bambu petung yang berumur 4 tahun. Serat bambu petung ditunjukkan pada gambar 3.3.

Tabel 3.2 merupakan properties bambu petung yang digunakan pada penelitian ini. Kondisi bambu yang digunakan dalam keadaan kering



Gambar 3.3 Serat Bambu Petung

Tabel 3.2
Properties bambu petung yang digunakan
Properties

Umur	4 tahun
Warna	Hijau kekuningan
Lignin	19,04%
Panjang	290 mm/bilah
Asal	Desa Wagir, Malang

d) NaOH

Natrium Hidroxida (NaOH) adalah basa yang akan digunakan sebagai larutan pembersih lignin, silica, dan hemiselulosa pada serat alam serta berfungsi untuk meningkatkan penyatuan atau impregnasi antara serat dan matrik ditunjukkan pada gambar 3.4. NaOH yang digunakan sebanyak 40 gram atau 4% seperti perhitungan berikut:

$$N = (\text{massa NaOH} \times n \text{ NaOH}) / (\text{Mr NaOH} \times \text{Volume Larutan})$$

$$1 = (\text{massa NaOH} \times 1) / (40 \times 1\text{L})$$

$$\text{Massa NaOH} = 40 \text{ gram}$$

$$\text{Massa NaOH} = (40 \text{ gram} / 1000 \text{ mL}) \times 100\% = 4\%$$



Gambar 3.4 NaOH

3.4.2 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a) Mesin Uji Tarik Serat Tunggal

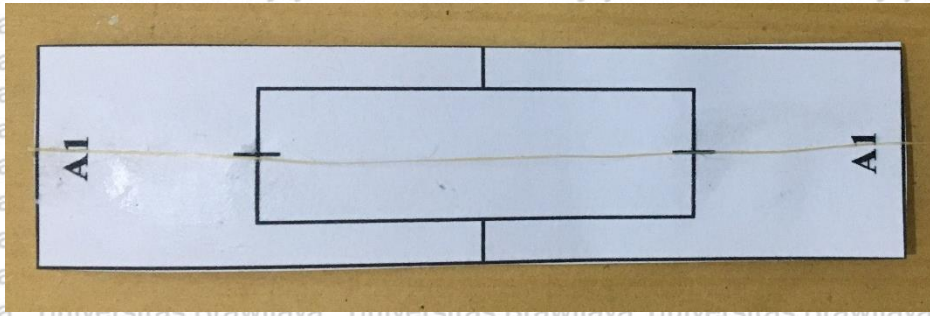


Gambar 3.5 Mesin Uji Tarik Serat Tunggal

Mesin Uji Tarik Serat Tunggal digunakan untuk memberikan beban tarik pada serat tunggal yang kemudian akan diukur kekuatan tarik dari serat tunggal. Mesin Uji Tarik Serat Tunggal ditunjukkan pada gambar 3.5.

Spesifikasi alat:

- Merek : MESDAN LAB S.p.a
- Model : Tenso Lab 300
- Type : 168 E
- Serial Number : 397
- Tahun Buatan : 1997



Gambar 3.6 Spesimen uji tarik serat tunggal

- Panjang 10 cm lebar 2,5 cm

b) Mesin Uji Tarik Komposit



Gambar 3.7 Alat Uji Tarik Komposit

Mesin Uji Tarik Komposit digunakan untuk memberikan beban tarik pada spesimen yang kemudian diukur kekuatan tariknya. Mesin Uji Tarik Komposit ditunjukkan pada gambar 3.7

Spesifikasi alat:

- Produksi : Doggun Liyi Test Equipment Co., Ltd
- Model : LY - 1066B
- Kapasitas : 1000 kg
- Tingkat Akurasi : 5%
- Ruang Tarik Efektif : 1200mm
- Lebar Tes Efektif : 320mm
- Uji Kekuatan Resolusi : 1 / 150.000
- Tes Kecepatan : 50 - 500mm/min

- Metode Operasi : Kontrol Komputer
- Voltase : 220V, 50Hz

c) *Ultrasonic Cleaner*



Gambar 3.8 Ultrasonic cleaner

Ultrasonic cleaner digunakan untuk proses pemanasan serat dan perendaman dengan NaOH yang ditunjukkan pada gambar 3.8.

Spesifikasi alat :

- Merk : BAKU
- Model Number : BK 1200
- Daya : 100 W
- Frekuensi : 40 kHz
- Kapasitas : 1.47 L
- Voltase : AC 220-240 V 50Hz
AC 110-120 V 60Hz
- Daya Ultrasonik : 60 W

d) *Timbangan Digital*

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat serat bambu ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Timbangan Digital

e) Cetakan

Cetakan yang dibuat memiliki bentuk sesuai dengan ASTM D638-01 yang terbuat dari akrilik ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Cetakan Komposit

f) Sealant Tape

Sealant Tape berfungsi untuk merekatkan *plastic bag* dengan cetakan agar tidak ada udara yang masuk ke dalam cetakan yang ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Sealant Tape

g) Mesh

Mesh berfungsi untuk meratakan aliran resin yang memasuki cetakan yang ditunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Mesh

h) *Mirror Glaze*

Mirror Glaze berfungsi untuk mempermudah proses pencabutan spesimen komposit dari cetakan. *Mirror Glaze* ditunjukkan pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Mirror Glaze*

i) *Plastic Bag*

Plastic Bag berfungsi sebagai penutup cetakan yang akan dialiri resin untuk mencegah udara masuk ke dalam cetakan. *Plastic Bag* ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 *Plastic Bag*

j) *Vacuum Pump*

Gambar 3.16 *Vacuum Pump*

Vacuum Pump berfungsi untuk menghisap udara agar keluar dari cetakan agar cetakan dalam keadaan *vacuum* yang ditunjukkan pada gambar 3.16. Spesifikasi *Vacuum Pump* yang digunakan adalah :

- Model : VE2100N
- Flowrate : 12.0 CFM

- *Ultimate Vacuum* :15 Micron
- *Voltage/Frequency* :230 V / 50-60 Hz
- *Power* :1 HP
- *Serial Number* :A17051652

k) *C- Clamp*

C-Clamp berfungsi untuk menjepit selang masuk dan keluar untuk menentukan tinggi atau rendahnya aliran resin yang masuk ke dalam cetakan. *C-Clamp* ditunjukkan pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 *C – Clamp*

Spesifikasi *C-Clamp* yang digunakan adalah :

- Merk :Wipro
- Bahan : Besi tuang, stainless steel
- Bukaannya rahang :4" / 10,1 cm
- Dimensi benda :175 x 105 x 20 mm
- Berat :700 gram

1) *Resin Trap*



Gambar 3.18 *Resin trap*

Resin trap berfungsi sebagai tempat menampung resin agar tidak masuk ke dalam *vacuum pump*. *Resin Trap* ditunjukkan pada gambar 3.18. Spesifikasi *Resin Trap* yang

digunakan sebagai berikut :

- Model : VIOT VPD12
- *Pumping Rate* : 11,5 CFM
- *Intake Port Diameter* : 1/4 Inch
- *Ultimate Vacuum* : 12 Micron

m) Gelas Plastik



Gambar 3.19 Gelas Plastik

Gelas plastik digunakan untuk menampung campuran resin dan *hardener* yang ditunjukkan pada gambar 3.19. Spesifikasi gelas plastik yang dipakai sebagai berikut :

- Daya Tampung : 200ml
- Berat : +/- 5 gram
- Tinggi : 9 cm
- Diameter Atas : 7.4 cm
- Diameter Bawah : 3.6 cm

n) *PE Tube*



Gambar 3.20 *PE Tube*

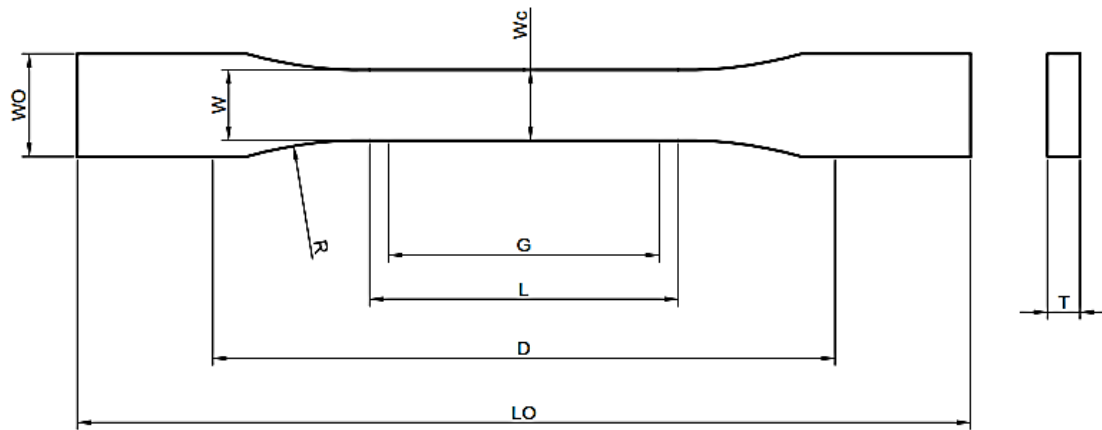
PE Tube digunakan untuk mengalirkan resin dari penampung resin hingga mengisi

cetakan spesimen. *PE Tube* ditunjukkan pada gambar 3.20. Spesifikasi *PE Tube* yang dipakai sebagai berikut :

Model	:TEN610
Warna	:Orange
Diameter Dalam	:6 mm
Diameter Luar	:8 mm
Material	:Polyurethane
Tekanan Maksimum	:Tekanan Udara 0.8MPa, Air 0.3MPa
<i>Operating Temperature Limits</i>	: -5°C - 60°C (Tekanan Udara), 0°C - 40°C (Tekanan Air)
Berat	:190 gram

3.5 Uji Tarik Komposit

Spesimen uji tarik pada pengujian tarik ini menggunakan standar ASTM D638-01 ukuran spesimen sebagai berikut :



Gambar 3.21 Dimensi Spesimen Tarik berdasarkan ASTM D638-01

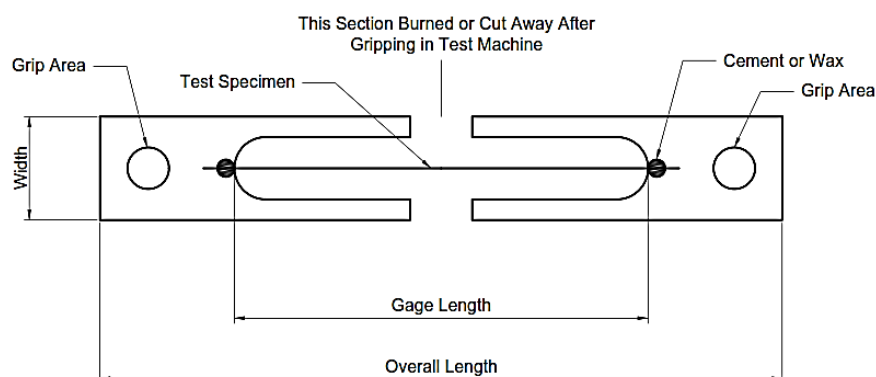
Sumber : ASTM D638-01, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*

Ukuran spesimen uji tarik komposit berdasarkan standar ASTM D638-01 dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2

Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-01, $T = 3.2 \text{ mm}$ (0.12)

Dimension	Value, mm (in)
Thickness $< 7 \text{ mm}$ (0.28 in), T	32 ± 0.4 (0.12 ± 0.02)
Width of narrow selection,	13 (0.5)
Length of narrow selection, L	57 (2.25)
Width overall, W_O	19 (0.75)
Length overall, L_O	165 (6.5)
Gauge length, G	50 (2.00)
Distance between grips, D	115 (4.5)
Radius of fillet, R	76 (3.00)

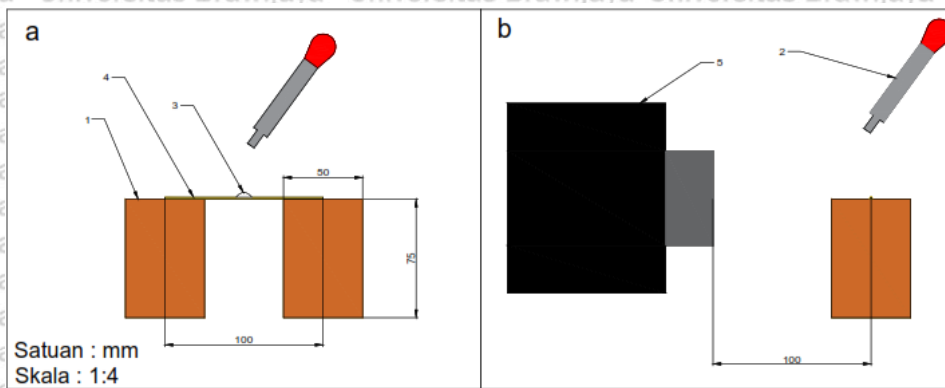
Sumber : ASTM D638-01, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*

Gambar 3.22 Spesimen Uji Tarik Serat Tunggal ASTM d3379-75

Sumber : ASTM D3379-75

3.6 Pengujian Wettability

Pada Gambar 3.23 dijelaskan secara singkat tentang pengujian *wettability* pada serat tunggal bambu petung dalam skema di bawah ini.



Gambar 3.23 Skema pengujian *wettability* (a) Tampak depan, (b) Tampak samping

Keterangan :

- 1 = Penyangga serat
- 2 = Pipet tetes
- 3 = Droplet resin *epoxy*
- 4 = Serat tunggal bambu petung
- 5 = Kamera DSLR

Tahapan dalam proses ini, antara lain meletakkan sehelai serat pada penyangga serat yang sama tinggi lalu menarik kedua ujung serat sehingga didapatkan serat yang tegang.

Setelah itu menyiapkan kamera tepat di depan serat. Jika serat dan kamera sudah siap selanjutnya meneteskan droplet resin *epoxy* menggunakan pipet tetes sebanyak satu tetes di tengah permukaan serat. Setelah itu menunggu droplet resin *epoxy* menyerap selama 15 menit dan mengambil foto droplet resin *epoxy* yang menempel pada serat. Terakhir mengukur sudut kontak antara droplet resin *epoxy* pada permukaan atas serat dengan permukaan serat menggunakan AutoCAD.

3.7 Proses Pelaksanaan

Pada penelitian ini menggunakan bilah bambu petung yang berumur 4 tahun dengan panjang 290 mm tiap bilahnya yang kemudian direndam selama dua minggu dalam air untuk mempermudah proses penyeratan. Proses penyeratan dilakukan secara manual menggunakan tangan. Serat yang sudah siap lalu diberikan perlakuan *pretreatment* menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz dalam larutan NaOH selama 15 menit, 30 menit, dan 45 menit pada temperatur 70°C. Larutan NaOH yang digunakan memiliki konsentrasi larutan sebesar 1 molar. Sesudah melakukan *pretreatment* maka serat

dibersihkan menggunakan aquades yang mengalir guna membersihkan serat dari larutan alkali. Proses pembersihan serat dilakukan sampai serat dirasa sudah tidak licin. Serat yang sudah dibersihkan kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 15 menit pada suhu 110°C sehingga didapatkan serat yang kering. Serat yang kering ini lalu ditimbang seberat 2gr untuk tiap spesimen. Tiap variasi waktu dibutuhkan 3 spesimen. Selanjutnya serat dipotong sesuai dengan panjang cetakan uji tarik komposit yakni 165 mm dengan pemberian toleransi panjang ± 1 mm. Setelah itu dilakukan pembuatan spesimen uji tarik komposit dengan metode *vacuum assisted resin infusion* seperti pada poin 3.7.3.

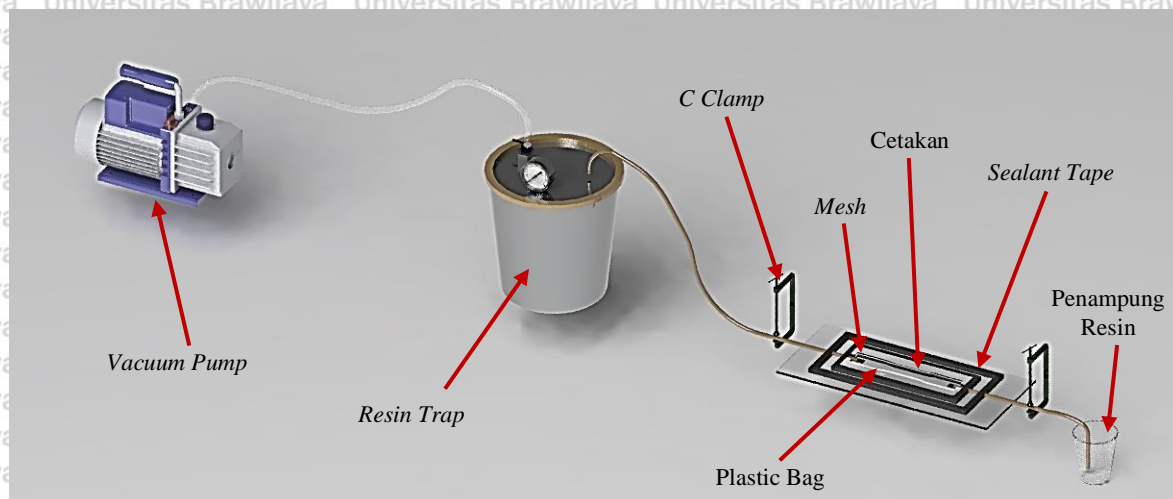
3.7.1 Proses Pembuatan Serat Tunggal

Proses pembuatan serat tunggal diawali dengan mempersiapkan bambu petung yang akan digunakan lalu memotong bambu petung sesuai dengan ukuran. Selanjutnya menggunakan palu untuk memisahkan serat dan gunting untuk memotong serat bambu petung lalu memasukkan campuran serat bambu petung dengan larutan NaOH dengan konsentrasi 4% ke dalam reaktor sonikasi dan melakukan delignifikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik dengan daya 60 watt selama 30, 45, 60 menit yang diakhiri dengan melakukan pengujian tarik pada serat tanpa *pretreatment*, *pretreatment* 30 menit, 45 menit, dan 60 menit menggunakan gelombang ultrasonik sesuai dengan standar ASTM D3379-75.

3.7.2 Proses Pemanasan Menggunakan Gelombang Ultrasonik

Proses pemanasan serat bambu dilakukan dengan beberapa tahapan yang diawali dengan menyiapkan peralatan dan bahan yang meliputi : gelas ukur, sendok pengaduk, timbangan, serat bambu seberat 2 gram, NaOH, aquades. Selanjutnya menggunakan perlengkapan *safety* seperti : masker dan sarung tangan latex. Jika sudah siap dilanjutkan dengan menimbang dan menghitung berat NaOH sebanyak 40 gram untuk mendapatkan larutan NaOH 1N yang akan diletakkan ke dalam wadah reaktor sonikasi serta 960 L aquades ke dalam wadah tersebut agar sesuai dengan presentase yang telah ditentukan. Tahapan selanjutnya yakni memasukan serat bambu petung yang sudah disiapkan ke dalam larutan alkali pada reaktor sonikasi untuk diberikan perlakuan waktu *pretreatment* 30 menit, 45 menit, 60 menit menggunakan gelombang ultrasonik dengan daya 60 watt lalu membilas serat bambu dengan air mengalir agar memiliki pH netral. Setelah dibilas serat bambu dikeringkan dengan oven selama 15 menit dengan suhu 110°C.

3.7.3 Proses Vacuum Assisted Resin Infusion



Gambar 3.24 Skema Vacuum Assisted Resin Infusion

Tahapan dalam proses ini diawali dengan mempersiapkan alat bahan, dan serat bambu petung yang akan digunakan. Setelah itu diletakkan alas kaca di atas meja sebagai alas dari cetakan spesimen lalu memberikan *release agent* (*Mirror Galze*) pada alas kaca dan cetakan spesimen. Setelah itu meletakkan cetakan spesimen di atas alas kaca untuk dipasangkan *sealant tape* pada alas kaca mengitari cetakan spesimen. Tahapan selanjutnya yakni mengukur dan memotong *mesh* dan *plastic bag*. Dilanjutkan dengan memasukkan serat bambu petung yang telah disiapkan pada cetakan spesimen lalu memasang *mesh* pada *PE tube* dan menempatkannya di atas cetakan spesimen, dan merekatkannya serta memasang *PE tube* pada arah aliran keluar cetakan lalu Menutup semua bagian yang ada di atas cetakan spesimen dengan *plastic bag* yang direkatkan dengan *sealant tape* yang terpasang pada alas kaca dan cetakan spesimen. Berikutnya memotong *PE-tube* sesuai panjang yang disesuaikan dengan jarak dari penampung resin ke cetakan pola, cetakan pola ke *resin trap* dan dari *resin trap* ke *vacuum pump* dan menutup *PE-tube* arah masuk resin dengan C – Clamp. Sisi satunya menyambungkan *PE-tube* arah keluar ke *resin trap* dan memberikan C – clamp sebagai penutup saat proses sudah selesai dan menyambungkan *PE-tube* dari *resin trap* ke *vacuum pump*. Setelah itu menyalakan *vacuum pump* dan tunggu hingga *pressure gauge* tidak dapat naik (kondisi maksimal) lalu baru bisa mematikan *vacuum pump* dan menunggu selama satu jam untuk mengetahui kebocoran. Jika tidak ada kebocoran bisa melakukan pencampuran resin dan katalis sesuai volume yang telah disesuaikan jika tekanan pada *pressure gauge* telah stabil selama 1 jam,

Lalu menyambungkan *PE-tube* arah masuk cetakan spesimen ke penampung resin dan buka *C-clamp* setelah resin dan katalis tecampur dan menunggu sesaat hingga resin mengalir ke cetakan dan masuk ke *resin trap* untuk memastikan semua resin masuk ke dalam cetakan spesimen. Terakhir, menutup kedua aliran masuk dan keluar dengan *C-clamp* dan menunggu resin hingga mengering.

3.7.4 Proses Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

Proses pengujian kekuatan tarik komposit dimulai dengan mengukur geometri awal spesimen uji tarik antara lain: panjang spesimen awal dengan menggunakan jangka sorong, lalu memasang grip sesuai dengan bentuk spesimen yang akan di uji. Setelah itu menyalakan alat uji tarik dengan langkah yaitu mcb dinyalakan kemudian tekan *power switch on*. Menggunakan remot untuk kontrol manual digunakan saat awal pemasangan spesimen. Masuk ke software dengan memasukkan user dan password (untuk mengganti password klik preview kemudian checklist) dan isi judul pengujian serta input nilai geometri spesimen antara lain: a. Gauge length: panjang tengah spesimen, b. Grip length: panjang spesimen yang dijepit oleh grip, c. Width length: lebar spesimen, d. Thickness: tebal spesimen, Setelah itu klik area maka akan otomatis menghitung luas area. Selanjutnya memilih metode pengujian tesile atau uji tarik dan mengisi speed atau kecepatan sesuai dengan standart yaitu 0.0001 s lalu mengklik zero all untuk memastikan semua data pengujian sebelumnya telah terhapus. Pengujian siap dengan mengklik run. Berikutnya, melihat data hasil pengujian dengan mengklik report kemudian masuk ke file. Data hasil pengujian siap disimpan. Setelah pengujian selesai software ditutup lalu mematikan alat uji dengan menekan power switch off. Kemudian mcb di matikan. Terakhir, mengukur panjang akhir spesimen uji tarik menggunakan jangka sorong.

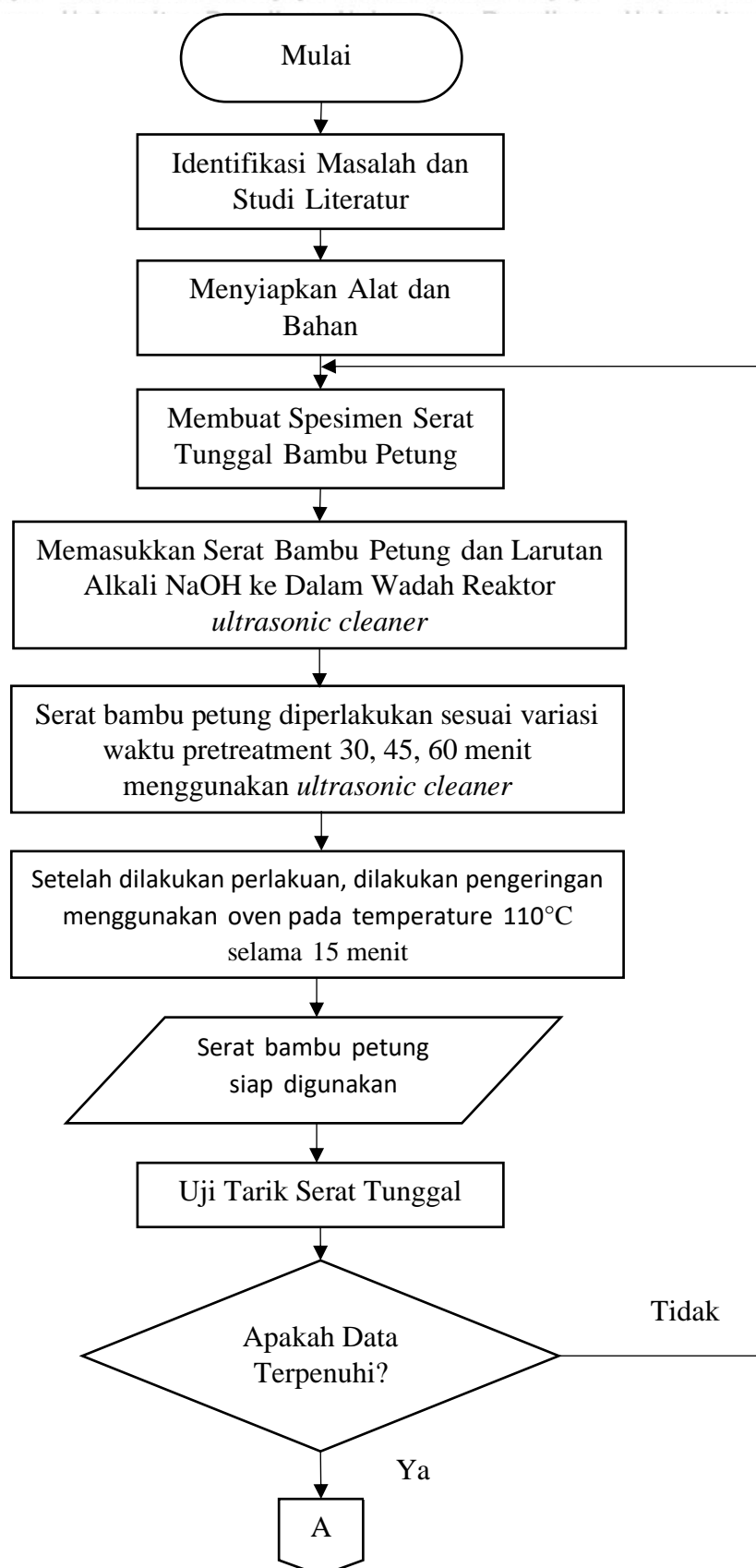
3.7.5 Proses Pengujian Kekuatan Tarik Serat

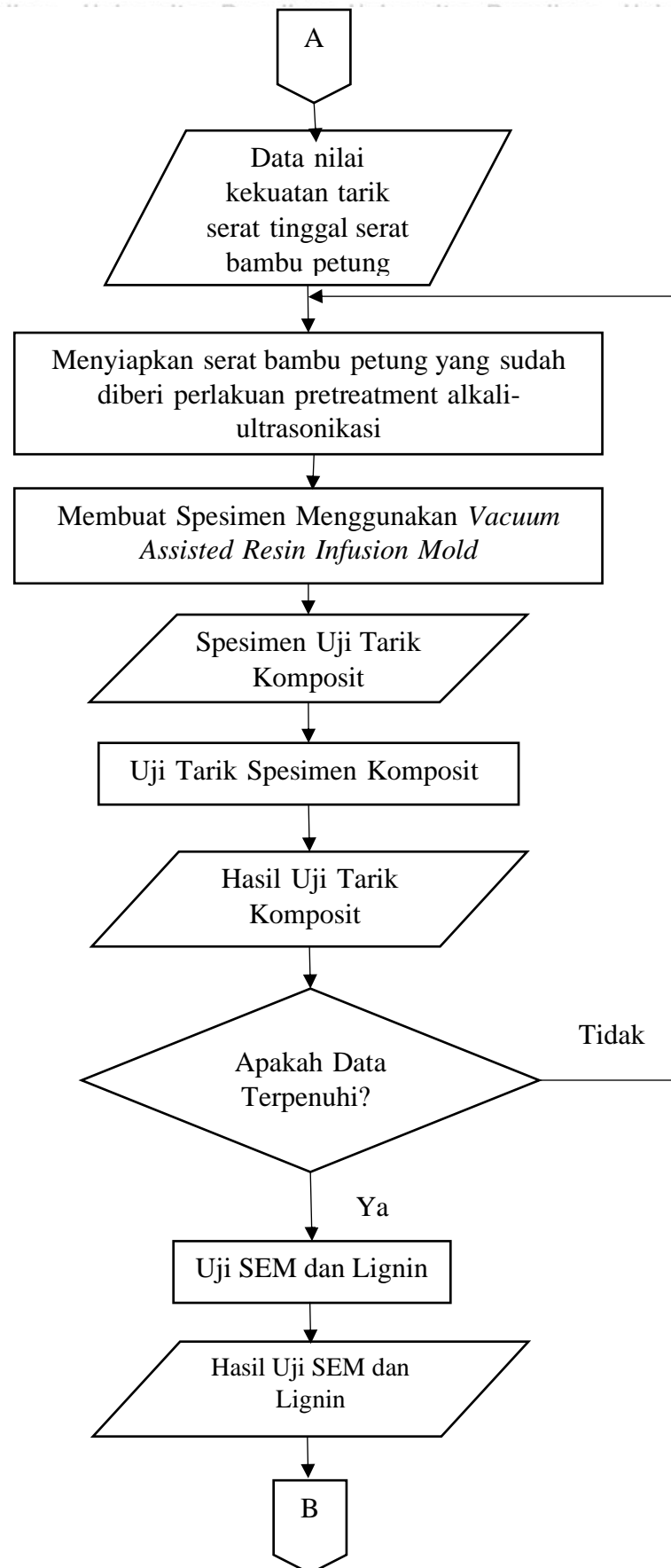
Untuk melakukan proses ini, tahapan pertamanya yaitu menghubungkan Steker Komputer dan Tenso Lab ke sumber arus listrik, menghidupkan komputer yang sudah ada program software dan Tenso Lab yang sudah saling terkoneksi. Setelah itu memotong bahan atau material untuk: serat dengan panjang ukuran 10 cm. Untuk ukuran serat pendek bisa dengan bantuan kertas dengan panjang 10 cm, lebar 2,5 cm yaitu kertas dilubangi ulat/lubang segi panjang 4-5 cm, lebar 1 cm lalu serat ditempel di tengah kertas berlubang tadi kemudian serat pendek tadi ujung-ujungnya dilem dengan lem alteco, panjang serat 10 cm. Kemudian setting di alat Tenso Lab sesuai dengan ketentuan masing-masing: (a) mengatur jarak klem

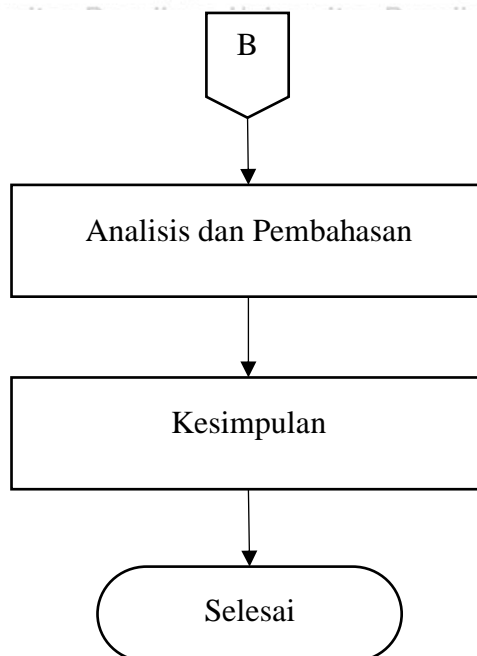
penjepit material atas dan bawah (untuk serat 60-70 mm), (b) mengatur Stop Force (ketepatan putus material, mesin mati), (c) mengatur *Speed*-nya (kecepatan tarik 296,16 mm.menit), (d) mengatur *Peak Sensibility* (kepekaan) lalu tekan tanda panah yang ke bawah 2x, otomatis Kembali tampilan awal/normal. Kemudian setting di program yang ada dikomputer dengan pengisian sbb: (a) satuan kekuatan (pilih sesuai keinginan: kg, cN, Newton, gram), (b) satuan mulur (pilih sesuai keinginan :cm%), (c) satuan nomor serat (pilih sesuai keinginan), (d) jarak klem penjepit diisi (untuk serat pendek 60 mm) lalu tekan OK.

Untuk melakukan pengujian tarik supaya terkoneksi computer dengan Tenso Lab, tekan KONECTATION 1x dan akan aktif dengan warna merah. Kemudian jepit bahan/material yang akan diuji yaitu media kertas berlubang yang ada seratnya dijepit dulu diantara dua penjepit dengan sudah menggunting media kertas kanan kiri lubang kertas tersebut, sehingga tinggal serat yang akan diuji tarik. Sebelum tekan START, kedudukan angka ditampilkan Tenso Lab harus NOL, lalu tekan START dan bahan/material akan ditarik ke atas. Nilai kekuatan tarik dan mulur akan terdeteksi secara otomatis dan ditampilkan pada monitor kemudian tekan ENTER. Pada alat Tenso Lab secara otomatis akan menunjukkan nilai kekuatan tarik dan mulur dan secara statistik akan terhitung nilai rata-ratanya dan akan tersimpan di layar komputer. Untuk mengembalikan jarak klem penjepit ke semula dengan menekan tanda panah ke bawah pada Tenso Lab secara otomatis penjepit atas akan turun dan akan Kembali sesuai setting jarak penjepit awal yaitu 60 mm. Kemudian uji selanjutnya dengan material serat lainnya seperti langkah no.7-8. Setelah selesai pengujian lalu tekan ENTER di Tenso Lab agar tidak terkoneksi lagi dengan computer, kemudian data disimpan dengan mengklik STORE dan diberi nama file. Lalu untuk menge-print data buka menu TENSOBANK pilih file lalu tekan menu PRINT serta mengisi nama LAB. EVATEK kemudian tekan ENTER.

3.8 Diagram Alir Penelitian





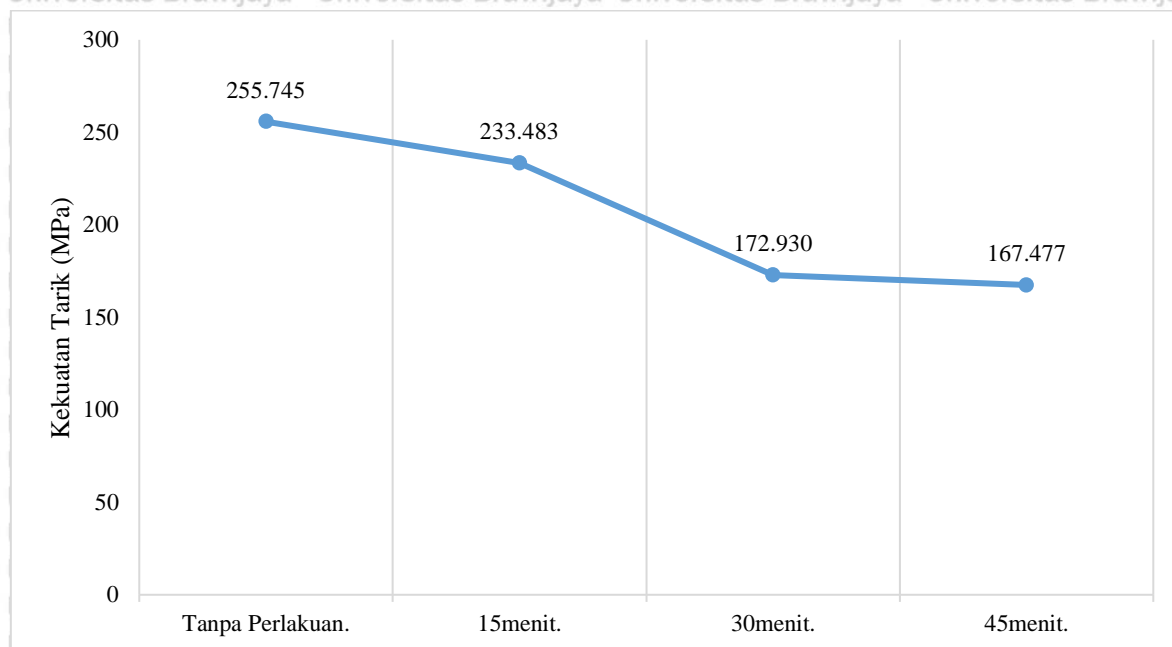




HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Serat Tunggal Bambu Petung



Gambar 4.1 Grafik hasil pengujian tarik serat tunggal bambu petung

Gambar 4.1 menunjukkan rata - rata dari kekuatan tarik serat tunggal bambu petung (*Dendrocalamus Asper*). Gambar tersebut merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan antara serat tunggal bambu petung tanpa perlakuan dengan serat tunggal bambu petung yang telah diberi pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik. Dapat dilihat pada Gambar 4.1 bahwa kekuatan tarik tertinggi terdapat pada serat bambu petung tanpa perlakuan yaitu sebesar 255,745 MPa. Selanjutnya kekuatan tarik pada serat bambu petung yang telah diberi perlakuan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik dengan waktu *pretreatment* selama 15 menit sebesar 233,483 MPa. Kekuatan tarik serat bambu petung pada perlakuan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik dengan waktu *pretreatment* selama 30 menit dan 45 menit ialah sebesar 172,930 MPa dan 167,477MPa. Sehingga dapat disimpulkan dari hasil pengujian tarik serat tunggal bambu petung bahwa semakin lama waktu *pretreatment* menggunakan gelombang ultrasonik maka kekuatannya semakin menurun.

Perendaman serat pada larutan NaOH dengan gelombang ultrasonik bertujuan untuk menghilangkan kotoran pada serat serta mendegradasi zat lignin yang merupakan matriks alami dari serat alam sehingga permukaan serat menjadi kasar dan digantikan dengan matrik epoksi pada komposit agar menghasilkan *mechanical interlocking* yang lebih baik.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa data yang diperoleh dari pengujian tarik serat tinggal sesuai dengan dasar teori dimana kekuatan tarik serat tunggal akan berkurang seiring dengan pemberian perlakuan alkalisasi dan ultrasonifikasi dikarenakan berkurangnya kandungan lignin pada serat.

Dengan terdegradasinya matriks alami pada serat maka morfologi dari serat bambu petung akan semakin kasar karena terdapatnya rongga pada permukaan serat serta permukaan serat menjadi lebih bersih (Mohammad, 2018). Hal tersebut berdampak pada kekuatan serat tunggal bambu petung dikarenakan matriks alami berfungsi sebagai pemberi sifat kokoh pada serat (Steffen, 2003). Oleh karena itu, pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik dalam larutan alkali dengan variasi waktu yang berbeda mampu memberikan pengaruh pada morfologi dan kekuatan dari serat bambu petung.

Kekuatan tarik serat tunggal akan selalu lebih tinggi daripada kekuatan tarik komposit. Hal ini sesuai dengan dasar teori dikarenakan material komposit merupakan material yang terbentuk atas dua atau lebih penyusun yang menyatu secara heterogen dan tetap mempertahankan sifatnya dan saling tidak larut. Sehingga kekuatan tarik komposit berada diantara kekuatan tarik serat tinggal dan kekuatan tarik matriks. Dimana secara umum sifat penguat adalah kurang ulet namun lebih kuat dan kaku sedangkan matriks lebih ulet namun kekuatan dan kekakuannya lebih rendah daripada penguat.

Tabel 4.1
Presentase kadar lignin pada serat

Jenis Perlakuan	Kadar Lignin (%)
Tanpa Perlakuan	19,04
Pretreatment 15 menit	16,76
Pretreatment 30 menit	14,51
Pretreatment 45 menit	17,90

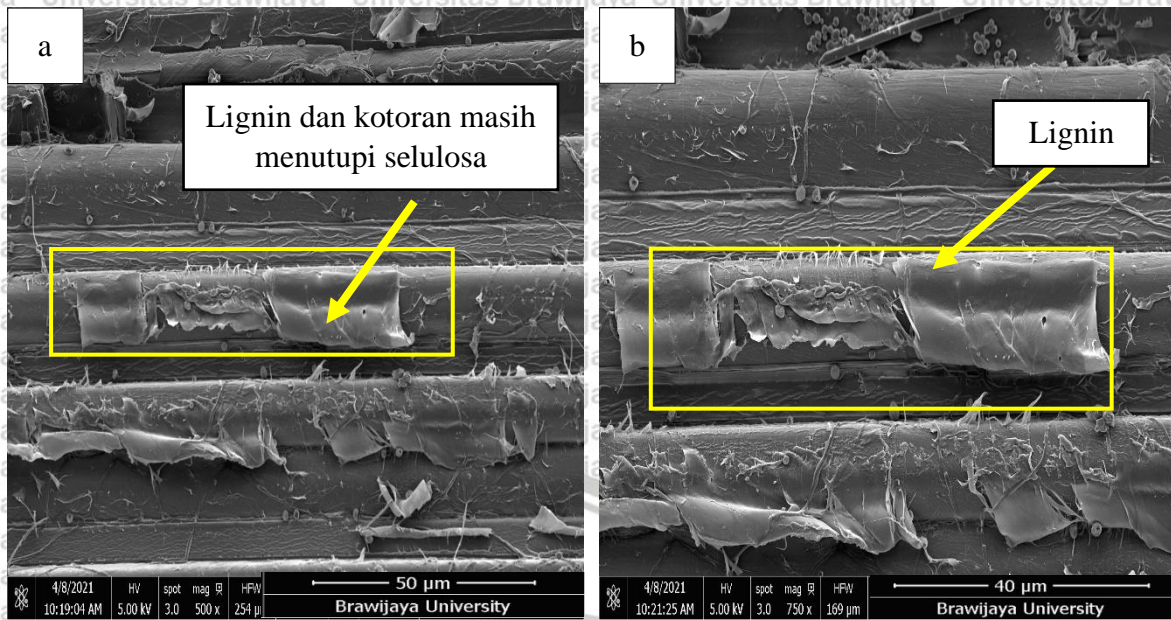
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan pretreatment menggunakan gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap kadar lignin pada serat. Kadar lignin pada serat berkurang seiring dengan bertambahnya waktu pretreatment.

Dengan berkurangnya terdegradasinya matriks alami pada serat maka morfologi dari serat bambu petung akan semakin kasar karena terdapatnya rongga pada permukaan serta membersihkan permukaan serat (Mohammad, 2018). Hal tersebut berdampak pada kekuatan serat tunggal bambu petung dikarenakan matriks alami berfungsi sebagai pemberi sifat kokoh pada serat (Steffen, 2003). Oleh karena itu, pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik dengan beberapa waktu yang berbeda mampu memberikan pengaruh pada morfologi dan kekuatan dari serat bambu petung.

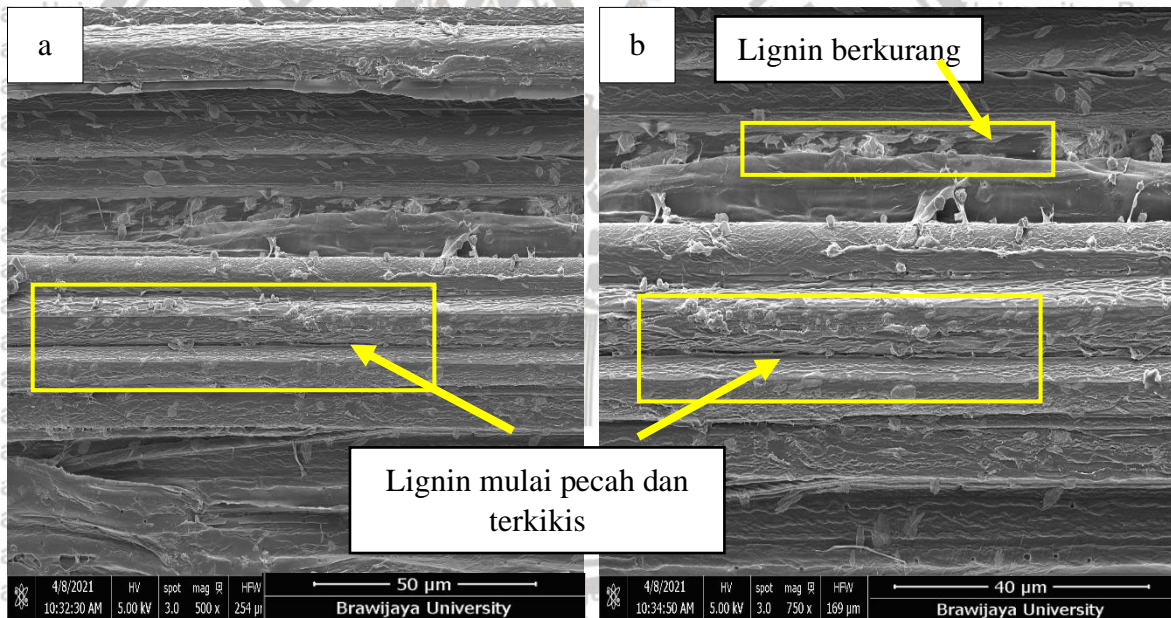
Namun terdapat penyimpangan pada pretreatment 45 menit. Matsuhita et al (2004) menyatakan bahwa adanya peningkatan kadar lignin terjadi karena adanya molekul lignin yang sebagian terkondensasi dan mengendap. Adanya molekul lignin yang terendapkan akan berpengaruh pada akumulasi bobot molekul rata-rata dan menyebabkan naiknya bobot molekul lignin. Selain itu juga karena pada proses pembuatan serat menjadi serbuk menggunakan *blender* dan *food processor*, alatnya kurang bersih sehingga tercampur dengan serat yang diberi perlakuan lebih cepat sehingga dihasilkan kadar lignin yang lebih tinggi. Seharusnya semakin lama waktu pretreatment yang diberikan maka kadar lignin semakin menurun.

4.2 Morfologi Permukaan Serat Tunggal Bambu Petung

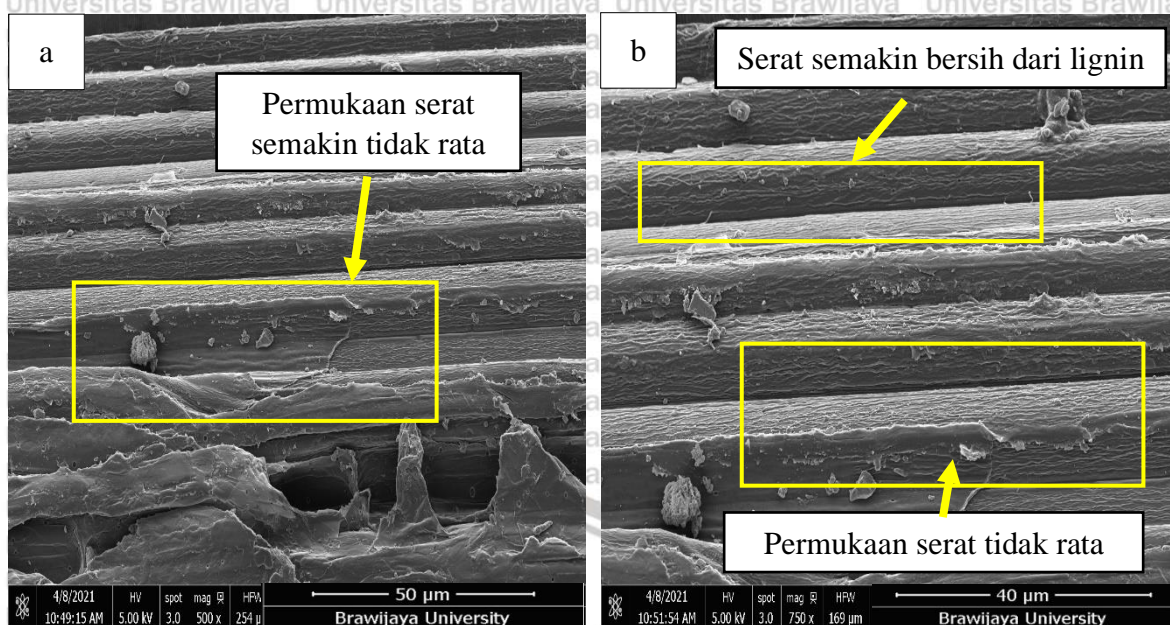
Dari hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dapat diamati morfologi permukaan dari serat bambu petung. Morfologi permukaan serat bambu petung yang diamati ialah penampang dari serat bambu petung tanpa perlakuan dan serat bambu petung yang telah diberi perlakuan berupa pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik pada larutan alkali dengan variasi waktu pemanasan selama 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Perbesaran yang digunakan untuk mengamati morfologi serat bambu petung ialah 500x dan 750x. Hasil dari pengujian SEM yang didapat adalah sebagai berikut:



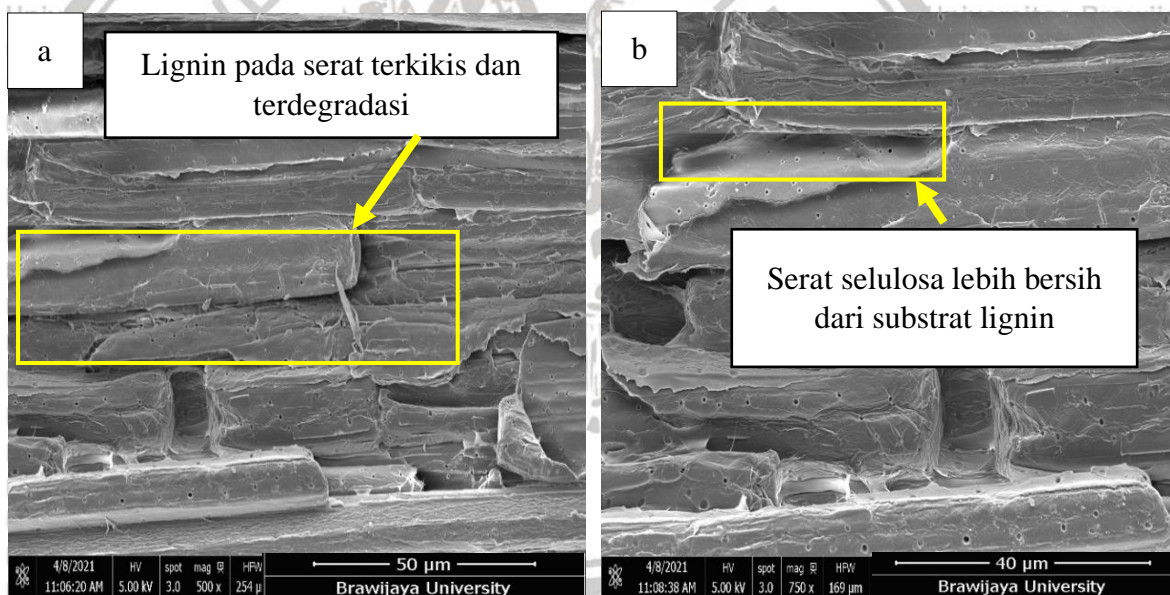
Gambar 4.2 Hasil SEM serat bambu petung tanpa perlakuan dengan perbesaran (a)500x dan (b) 750x



Gambar 4.3 Hasil SEM serat bambu petung pemanasan 15 menit dengan perbesaran (a)500x dan (b) 750x



Gambar 4.4 Hasil SEM serat bambu petung pemanasan 30 menit perbesaran (a) 500x dan (b) 750x



Gambar 4.5 Hasil SEM serat bambu petung pemanasan 45 menit perbesaran (a) 500x dan (b) 750x

Pada Gambar 4.2 memperlihatkan hasil uji SEM dari serat bambu petung tanpa perlakuan. Pada perbesaran 500x (Gambar 4.2a) dan 750x (Gambar 4.2b) dapat diamati pada permukaan serat bambu petung masih dipenuhi oleh kotoran dan matriks alami dari serat bambu petung yaitu berupa lignin. Matriks alami yang masih banyak terdapat pada serat bambu petung tanpa perlakuan akan mengurangi adhesi antara permukaan serat dengan matriks epoxy.

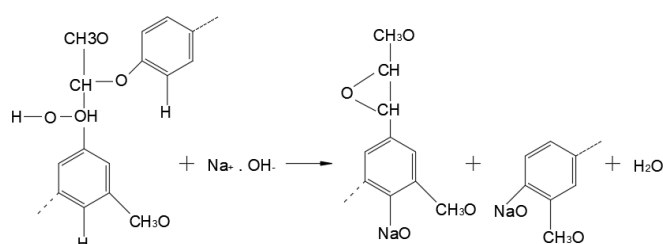
Pada Gambar 4.3 memperlihatkan hasil uji SEM dari serat bambu petung yang telah diberi perlakuan berupa pemanasan dengan gelombang ultrasonik pada rendaman NaOH selama 15 menit. Pada perbesaran 500x (Gambar 4.3a) dan 750x (Gambar 4.3b) dapat diamati lignin yang berada pada permukaan serat bambu petung tersebut mulai berkurang dan terkikis akibat perlakuan yang telah diberikan. Perlakuan perendaman NaOH mampu membersihkan serat dari matriks alaminya. Selain itu, tampak serat sedikit berongga karena serat semakin bersih dibandingkan serat bambu petung tanpa perlakuan. Hal tersebut dikarenakan diberikan perlakuan pemanasan pada larutan NaOH (Bakrie, 2018). Rongga tersebut dapat diakibatkan karena air yang terkandung didalamnya mulai menghilang dan permukaan serat tersebut mulai tidak rata.

Pada Gambar 4.4 memperlihatkan hasil uji SEM dari serat bambu petung yang telah diberi perlakuan berupa pemanasan dengan gelombang ultrasonik pada larutan NaOH selama 30 menit. Pada perbesaran 500x (Gambar 4.4a) dan 750x (Gambar 4.4b) dapat diamati permukaan serat semakin tidak rata dan semakin banyak rongga pada permukaan serat. Hal tersebut dikarenakan semakin meningkatnya waktu pemanasan gelombang ultrasonik akan menghasilkan peningkatan temperatur akibat ledakan kavitasi yang dapat mempengaruhi air pada serat dan membersihkan serat dari matriks alaminya. Selanjutnya apabila air dan lignin mulai hilang maka akan menimbulkan perbedaan morfologi pada permukaannya (Mohammad, 2018). Semakin tidak ratanya serat maka akan meningkatkan ikatan antara serat dengan matriks *epoxy*.

Pada Gambar 4.5 memperlihatkan hasil uji SEM dari serat bambu petung yang telah diberi perlakuan berupa pemanasan dengan gelombang ultrasonik pada larutan NaOH selama 45 menit. Pada perbesaran 500x (Gambar 4.5a) dan 750x (Gambar 4.5b) dapat diamati permukaan serat bambu petung semakin bersih dari matriks alaminya dan semakin kasar akibat lignin dan hemiselulosa terdegradasi. Hal tersebut menyebabkan serat menjadi rapuh sehingga tidak mampu mendistribusikan tegangan dari matriks dengan secara baik. Namun semakin kasar permukaan serat akan menghasilkan ikatan dengan resin epoksi semakin baik.

Hasil pengujian SEM memberikan penjelasan mengenai penyebab dari kekuatan tarik serat bambu petung semakin rendah seiring dengan peningkatan waktu pemanasan dengan gelombang ultrasonik pada larutan NaOH. Perendaman NaOH mengakibatkan jaringan penyusun serat bambu petung (lignin, hemiselulosa, selulosa, dan lilin) terdegradasi. Hal tersebut dikarenakan lignin bereaksi dengan NaOH pada saat perendaman selanjutnya NaOH akan terdisosiasi menjadi (Na^+) dan (OH^-). Menurut Sultoni (2017) ion (OH^-) akan beraksi

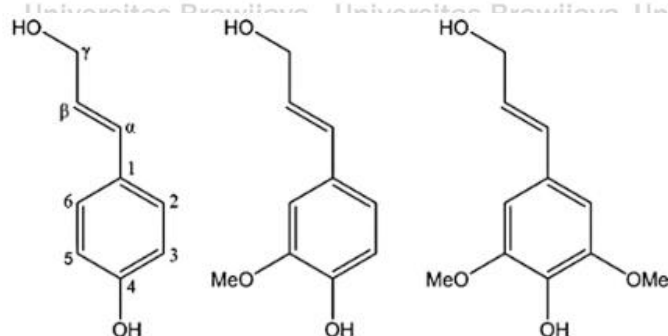
dengan gugus (H) yang terdapat pada lignin yang selanjutnya membentuk (H_2O). Sehingga gugus (O) kemudian akan membentuk radikal dan reaktif terhadap gugus (C). Selanjutnya gugus tersebut akan membentuk cincin ($\text{C} - \text{O} - \text{C}$) yang mengakibatkan rangkain gugus tersebut melepaskan ikatannya pada gugus (O). Hasil dari reaksi tersebut akan menghasilkan dua buah cincin benzene yang terpisah. Pada masing - masing cincin benzene tersebut memiliki gugus (O) yang bersifat reaktif. Gugus yang reaktif tersebut akan menghasilkan reaksi dengan (Na^+) yang kemudian larut dalam larutan basa. Sehingga lignin tersebut akan hilang jika dibilas menggunakan air. Skema di atas ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Skema pemutusan lignin akibat larutan NaOH
Sumber : Sultoni (2017)

Setelah proses perendaman tersebut terdapat air yang masih terkandung dalam serat bambu petung tersebut. Air dalam serat terletak pada permukaan dan pori dari serat bambu petung. Dengan semakin bertambahnya waktu pemanasan gelombang ultrasonik maka semakin banyak juga energi elektromagnetik yang diubah menjadi energi panas untuk meningkatkan temperatur pemanasan. Semakin meningkatnya temperatur pemanasan maka air yang berada pada serat akan mencapai titik didihnya dan menguap. Panas pada serat dihasilkan karena gerakan dan gesekan dari molekul (Patra, 2012). Dengan proses pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik mampu menghilangkan lignin yang tersisa. Proses hilangnya lignin terjadi akibat pecahnya gelembung yang kecil akibat suara yang mengakibatkan terjadinya peristiwa *hotspot* yang melibatkan energi yang sangat tinggi. Suhu yang sangat tinggi dan tekanan dapat menghancurkan struktur kristal bahan padat (Filson, 2009). Efek mekanis dari gelombang ultrasonik menginduksi penetrasi pelarut yang lebih besar ke dalam dinding membrane sel serat bamboo petung, memfasilitasi pelepasan isi sel dan meningkatkan perpindahan massa (Alupului et al, 2009). Iradiasi ultrasonik menyebabkan homolysis ikatan lignin-karbohidrat yang melepaskan lignin. Gugus hidroksil yang terkait dengan β - atau γ -karbon (Gambar 4.7) dalam rantai samping alifatik akan membentuk air ketika patah yang kemudian teruapkan ketika dipanaskan.

Pembelahan ikatan β - atau γ -karbon pada rantai samping alkil akan melepaskan formaldehida. Seiring peningkatan waktu pretreatment akan menyebabkan ikatan lainnya terputus dan cincin aromatik terdepolimerisasi menjadi hidrogen (Li, 2015).

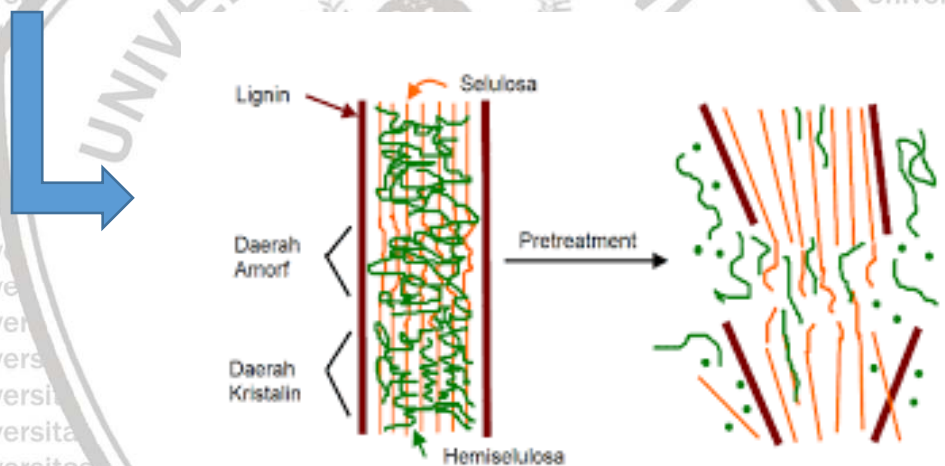


Gambar 4.7 Monomer Lignin

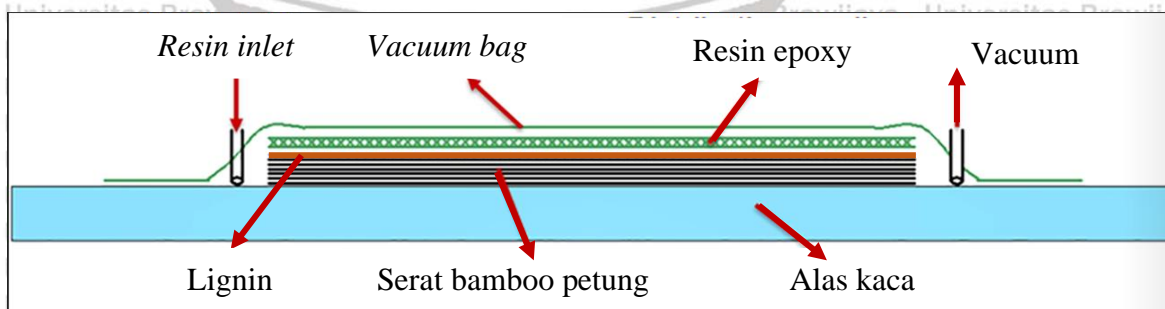
Sumber : Li (2015)

Pemberian gelombang ultrasonik pada suatu larutan akan menyebabkan molekul-molekul dalam larutan berosilasi terhadap posisi rata-ratanya. Larutan mengalami regangan dan rapatan. Ketika energi gelombang ultrasonik yang diberikan cukup besar maka regangan gelombang dapat memecah ikatan molekul antar larutan dan gas-gas yang terlarut di dalam larutan akan terperangkap akibat molekul larutan yang ikatannya terpecah ketika timbul rapatan kembali. Akibatnya timbul bola-bola berongga atau gelembung-gelembung berisi gas yang terperangkap yang dikenal dengan efek kavitasi. Selama proses kavitasi berlangsung terjadi *bubble collapse* (ketidakstabilan gelembung), yaitu pecahnya gelembung yang kecil akibat suara yang mengakibatkan terjadinya peristiwa *hotspot* yang melibatkan energi yang sangat tinggi. Suhu yang sangat tinggi dan tekanan dapat menghancurkan struktur kristal bahan padat (Filson, 2009). Efek mekanis dari gelombang ultrasonik menginduksi penetrasi pelarut yang lebih besar ke dalam dinding membrane sel serat bamboo petung, memfasilitasi pelepasan isi sel dan meningkatkan perpindahan massa (Alupului et al, 2009).

Proses pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik pada larutan NaOH membuat morfologi serat bambu petung semakin kasar. Selain itu perlakuan tersebut membuat geometri serat menjadi berubah. Perubahan tersebut berdampak pada distribusi tegangan sepanjang serat bambu petung. Hal tersebut menyebabkan perubahan sifat mekanik pada serat bambu petung saat dilakukan pengujian tarik. Nilai pengujian tarik serat bambu petung menghasilkan nilai yang optimum dengan pemanasan yang optimum (Mohammed, 2018).

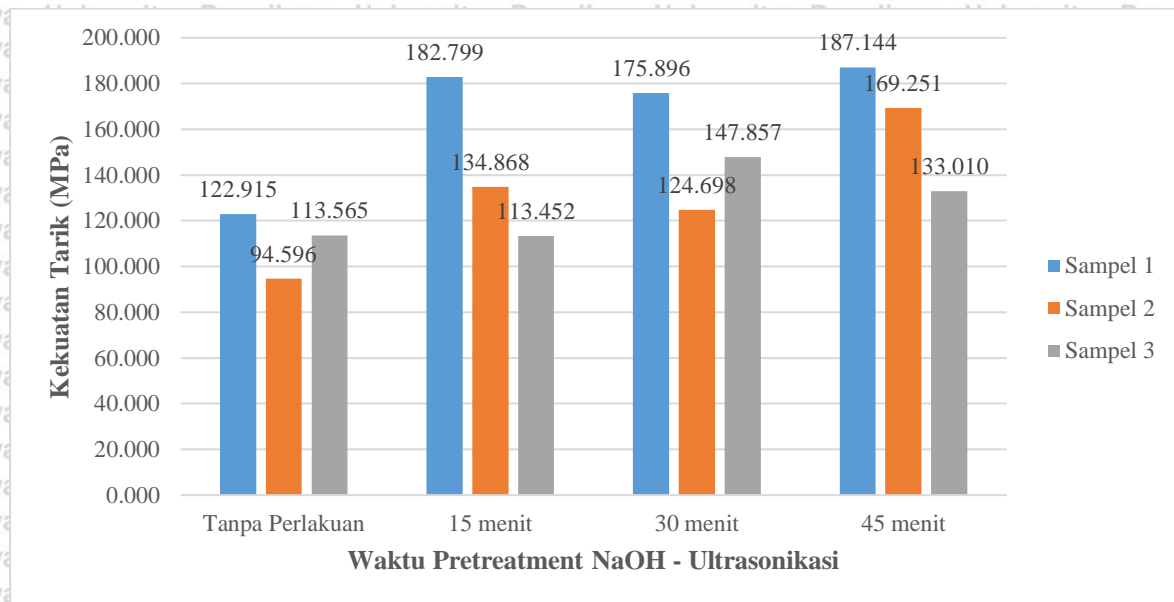


Gambar 4.8 Ilustrasi pelepasan lignin dari serat bambu ketika proses pretreatment

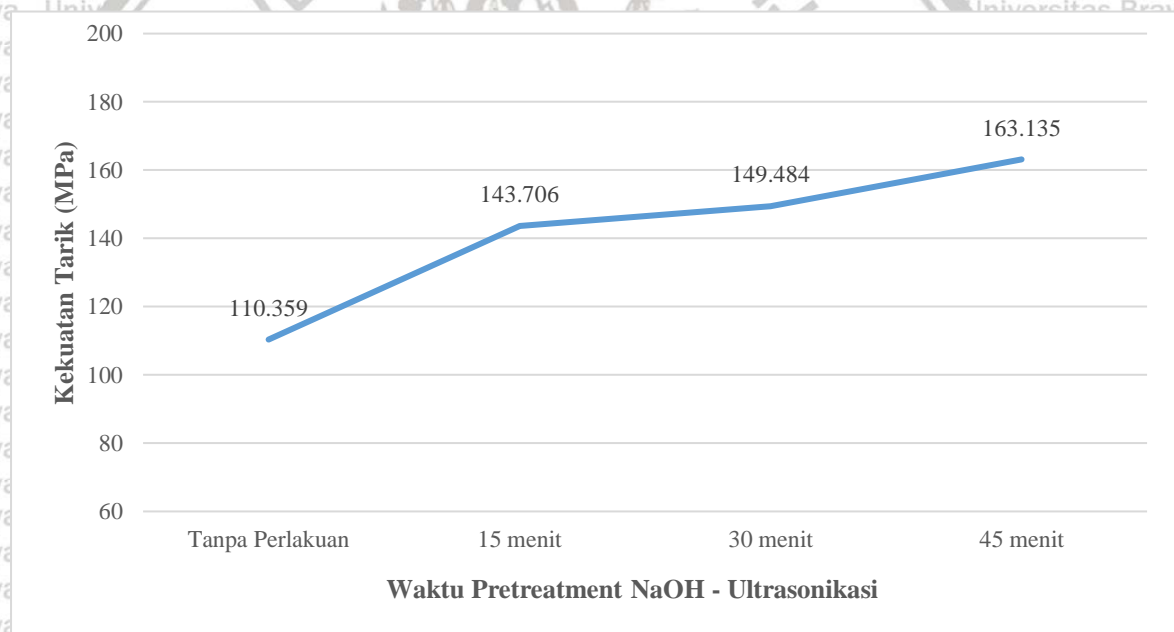


Gambar 4.9 Ilustrasi lignin serat menghambat penempelan matriks epoksi

4.3 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung



Gambar 4.10 Grafik hasil pengujian tarik komposit berpenguat serat bambu petung



Gambar 4.11 Grafik hasil pengujian tarik komposit berpenguat serat bambu petung

Pada Gambar 4.11 di atas memperlihatkan nilai kekuatan tarik rata-rata komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan dan serat bambu petung dengan perlakuan. Serat bambu petung bertujuan sebagai penguat dari komposit serat alam. Pemberian penguat serat bambu petung pada komposit alam bertujuan untuk menyalurkan tegangan yang diperoleh dari matriks epoksi ketika diberikan gaya. Dari penelitian yang telah dilakukan Djafar et al. (2014) kekuatan tarik dari resin *epoxy* tanpa penguat memiliki rata-

rata kekuatan sebesar 41,66 Mpa dengan perbandingan antara resin dengan *hardener*-nya ialah 2:1. Sehingga apabila dilihat dari grafik di atas, serat bambu petung berfungsi sebagai penguat dari komposit tersebut. Nilai kekuatan tarik dari komposit serat bambu petung tanpa perlakuan dan serat bambu petung yang diberi perlakuan lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik dari resin *epoxy*.

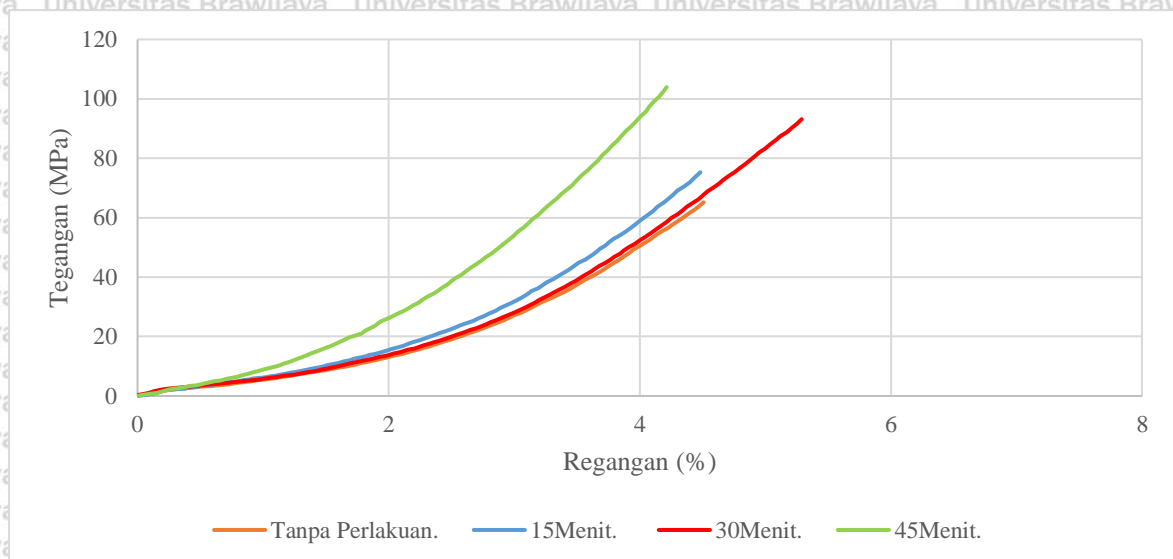
Dari dua grafik di atas memperlihatkan bahwa kekuatan tarik komposit yang diperkuat oleh serat bambu petung mengalami kecenderungan yang meningkat seiring dengan penambahan waktu *pretreatment*. Peningkatan tersebut terjadi hingga titik tertingginya pada saat perlakuan dengan waktu *pretreatment* selama 45 menit dengan kekuatan tarik rata-ratanya 163,135 MPa dan kekuatan tertingginya memiliki nilai sebesar 187,144 MPa. Selanjutnya nilai kekuatan tarik serat bamboo petung menurut secara berturut-turut dengan variasi waktu *pretreatment* 30 menit, 15 menit, dan tanpa perlakuan dengan nilai kekuatan tarik rata-ratanya masing-masing 149,484 MPa, 143,706 MPa, serta 110,359 MPa dengan kekuatan tarik tertingginya masing-masing yakni 175,896 MPa, 182,799 MPa, dan 122,915 MPa.

Kecenderungan tersebut disebabkan oleh serat bamboo sebagai penguat dari komposit tersebut. Komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan memiliki nilai terendah diantara dari komposit dengan penguat serat yang telah diberi perlakuan. Hal ini disebabkan karena pada serat tanpa perlakuan masih memiliki kandungan zat penyusun yang masih utuh yaitu lignin, lilin, hemiselulosa, dan lain sebagainya yang menutupi permukaan serat bamboo petung (Widiastuti et al, 2018). Hal tersebut menyebabkan serat pada komposit memiliki permukaan area yang kontak dengan resin lebih sedikit karena masih terhalang oleh matrik alaminya. Ikatan adhesi yang buruk tersebut membuat kekuatan tarik komposit serat bamboo petung tanpa perlakuan memiliki nilai kuat tarik yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan komposit berpenguat serat bamboo yang telah diberi perlakuan (Fahim dan Chad, 2008).

Komposit dengan serat bamboo yang telah diberi perlakuan mampu mendegradasi lognin hidrofobik, meningkatkan kekasaran permukaan, permeabilitas, *spreading rate*, dan mengurangi sudut kontaknya (Shah et al, 2018). Dapat dilihat pada grafik kekuatan tarik komposit dengan penguat serat bambu petung diatas dengan perlakuan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik pada larutan NaOH nilainya semakin meningkat saat variasi waktu juga ditambahkan. Peningkatan kekuatan tarik komposit serat bambu yang sebelumnya mengalami perlakuan menggunakan gelombang ultrasonik pada larutan alkali disebabkan oleh hilangnya beberapa zat pada permukaan serat, sehingga dengan

meningkatnya rasio permukaan dengan massa serat menghasilkan peningkatan ikatan permukaan serat dengan matriks (Saleem et al., 2008).

4.4 Tegangan-Regangan Hasil Pengujian Tarik Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung



Gambar 4.12 Tegangan dan regangan uji tarik komposit berpenguat serat bambu petung

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat grafik dari nilai tegangan dan regangan dari pengujian komposit yang diperkuat dengan serat bambu petung. Dari grafik tersebut dapat dilihat tegangan maksimum tertinggi terdapat pada komposit serat bambu petung pada *pretreatment* alkali-ultrasonikasi 45 menit yaitu sebesar 103,963 MPa. Selanjutnya tegangan maksimum komposit serat bambu petung dengan *pretreatment* alkali-ultrasonikasi 30 menit sebesar 93,16 MPa dan *pretreatment* alkali-ultrasonikasi 15 menit sebesar 73,732 MPa. Tegangan maksimum terendah yaitu pada komposit dengan serat bambu petung tanpa perlakuan yaitu sebesar 67,575 MPa. Peningkatan ini terjadi karena ikatan antar serat bamboo dengan matrik membaik. Dua poin utama dalam meningkatkan ikatan adhesi pada komposit berpenguat serat yakni meningkatkan kekasaran permukaan serat bamboo yang diberi perlakuan serta meningkatkan jumlah *surface interlocking* selulosa pada permukaan serat dengan matrik (resin epoksi) (Sugiman et al, 2019)

Komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan memiliki tegangan maksimum sebesar 67,575 MPa dan memiliki regangan sebesar 4,467% sehingga memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 0,007 GPa. Komposit berpenguat serat bambu petung dengan *pretreatment* alkali-ultrasonikasi 15 menit memiliki tegangan maksimum sebesar

75,308 MPa dan regangan sebesar 4,483% sehingga memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 0,011 GPa. Untuk komposit dengan serat bambu petung dengan *pretreatment* alkali-ultrasonikasi 30 menit memiliki tegangan maksimum sebesar 93,16 MPa dan memiliki regangan senilai 5,29% sehingga memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 0,016 GPa. Kemudian pada komposit dengan penguat serat bambu petung dengan *pretreatment* alkali-ultrasonikasi 45 menit memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 103,963 MPa dan memiliki regangan senilai 4,215% sehingga memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 0,019 GPa.

Modulus elastisitas bamboo merupakan parameter kekakuan dari komposit bamboo petung dan ketahanannya terhadap deformasi plastis. Modulus elastisitas pada bahan komposit merupakan salah satu indikasi sifat mekanik yang sangat baik (Zainuri, 2008). Dari hasil yang telah dijelaskan, bahwa nilai modulus elastisitas bahan komposit serat bambu petung mengalami peningkatan seiring penambahan lama waktu *pretreatment*. Sehingga matriks mampu menyalurkan tegangan yang diterima oleh komposit kepada serat lebih merata, dan dapat meningkatkan kekuatannya.

4.5 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Menggunakan Foto

Makroskopik

4.5.1 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Tanpa Perlakuan

Menggunakan Foto Makroskopik

Tabel 4.2

Daerah patahan komposit berpenguat serat bambu petung

Spesimen	Letak patah
Komposit Tanpa Perlakuan	<i>Grip length</i>
Komposit Pretreatment 15 menit	<i>Grip length</i>
Komposit Pretreatment 30 menit	<i>Gauge length</i>
Komposit Pretreatment 45 menit	<i>Gauge length</i>

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 bahwa patahan komposit cenderung berada pada *grip length* atau daerah dekat penjepit yang seharusnya berada di tengah *gauge length*. Hal ini disebabkan karena spesimen komposit tidak diberikan *double tape* terlebih dahulu pada daerah *grip length* yang bertujuan supaya penjepit tidak langsung kontak dengan

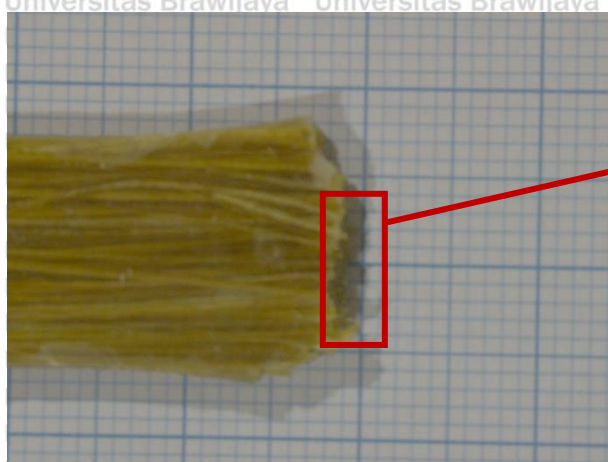
spesimen komposit dan memberikan tekanan pada spesimen komposit. Sehingga dihasilkan patahan pada daerah *grip length* akibat penjepit.

Patahan pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan terlihat pada Gambar 4.13. Patahan tersebut terjadi pada *grip length* dari spesimen. Patahan secara detail pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan terdapat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 yang terbagi dalam dua *section* yaitu patahan *section A* dan patahan *section B*.

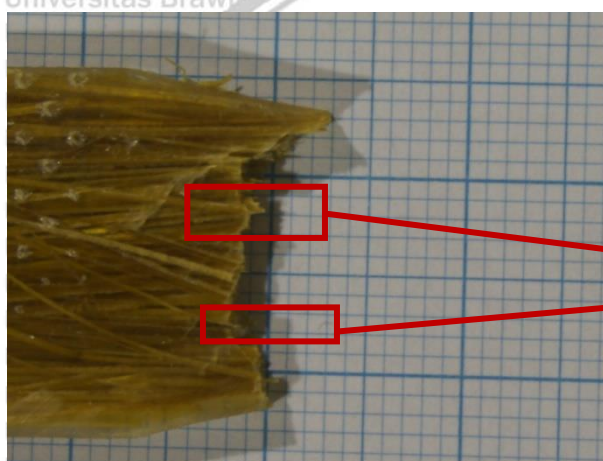


Gambar 4.13 Patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan

Pada patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan diperlihatkan bahwa pada Gambar 4.12 (patahan *section A*) dan Gambar 4.13 (patahan *section B*) terdapat beberapa jenis cacat yang terlihat. Pada patahan *section A* terdapat banyak cacat *pull out*. *Pull out* merupakan tercabutnya serat alam dari matriksnya akibat dari rendahnya kemampuan serat untuk berikatan dengan matriksnya (Dassios, 2007). Hal tersebut disebabkan pada serat tanpa perlakuan masih memiliki matriks alami seperti lignin dan lilin sehingga mempengaruhi ikatan serat dengan matriksnya. *Pull out* terpanjang dari patahan spesimen komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan adalah 8 mm. Cacat *pull out* juga banyak terdapat pada patahan *section B* dan *pull out* terpanjangnya adalah 12 mm. Pada patahan spesimen komposit berpenguat serat bambu petung *section A* juga terdapat cacat *debonding*. *Debonding* merupakan mekanisme terlepasnya ikatan antar material penyusun saat spesimen komposit menerima beban sehingga matriks dan serat terkelupas. *Debonding* menyebabkan matriks tidak dapat mendistribusikan beban pada serat bambu petung saat menerima beban tarik. *Debonding* disebabkan karena rendahnya adhesi antara penyusun komposit (Niu, 2002). Cacat *pull out* dan *debonding* menyebabkan kekuatan tarik spesimen komposit ini sebesar 108,2 MPa.



Gambar 4.14 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan section A



Gambar 4.15 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan section B

4.5.2 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Pemanasan Gelombang Ultrasonik-Alkalisasi 15 menit

Patahan pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit terlihat pada Gambar 4.16. Patahan tersebut terjadi pada *grip length* dari spesimen. Patahan secara detail pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit pada larutan alkali terdapat pada (Gambar 4.17) dan (Gambar 4.18) yang terbagi dalam dua *section* yaitu patahan *section A* dan patahan *section B*.



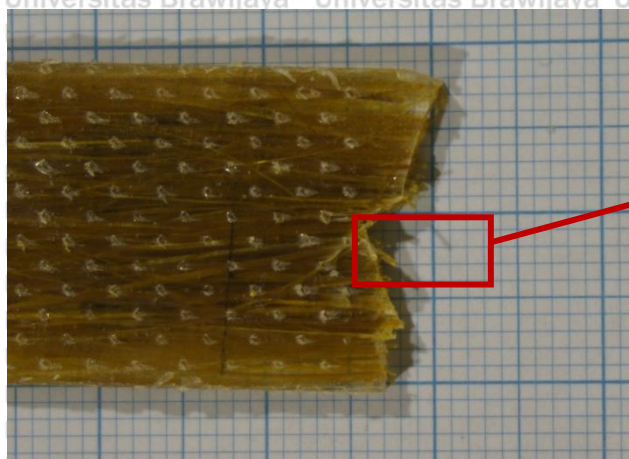
Gambar 4.16 Patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali ultrasonikasi 15 menit

Pada patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit diperlihatkan bahwa pada Gambar 4.17 (patahan *section A*) dan Gambar 4.18 (patahan *section B*) terdapat juga beberapa jenis cacat yang terlihat. Tetapi cacat pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit berkurang dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan. Proses perendaman NaOH dan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik 15 menit mampu membersihkan permukaan serat serta mengurangi kelembaban pada serat bambu petung (Mohammed, 2018). Sehingga mampu meningkatkan kekasaran dari permukaan serat dibandingkan serat bambu petung tanpa diberi perlakuan. Kekasaran tersebut meningkatkan adhesi antara serat bambu petung dengan matriks *epoxy*.

Cacat *fiber pull out* masih terlihat pada patahan akibat adhesi antara serat dengan matriks masih belum kuat tetapi pada spesimen ini cacat *fiber pull out* sedikit berkurang dengan dibuktikan panjang dari serat yang mengalami cacat *fiber pull out* berkurang dibandingkan spesimen tanpa perlakuan. Pada spesimen ini juga masih terlihat cacat *debonding* karena masih adanya matriks dan serat yang terkelupas. Hal tersebut diakibatkan karena masih lemahnya adhesi antara serat dengan matriks.



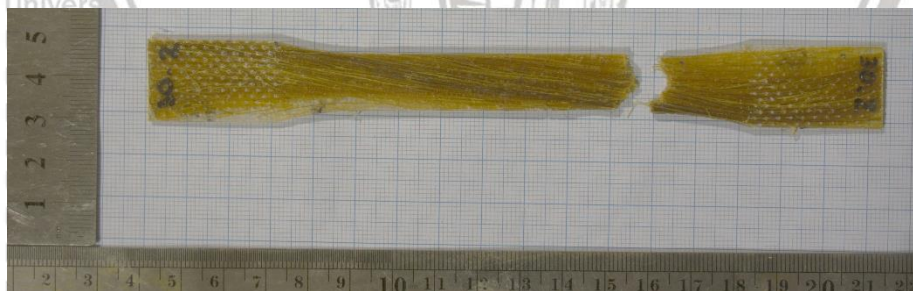
Gambar 4.17 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali-ultrasonikasi 15 menit *section A*



Gambar 4.18 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali-ultrasonikasi 15 menit section B

4.5.3 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Pemanasan Gelombang Ultrasonik-Alkalisasi 30 Menit

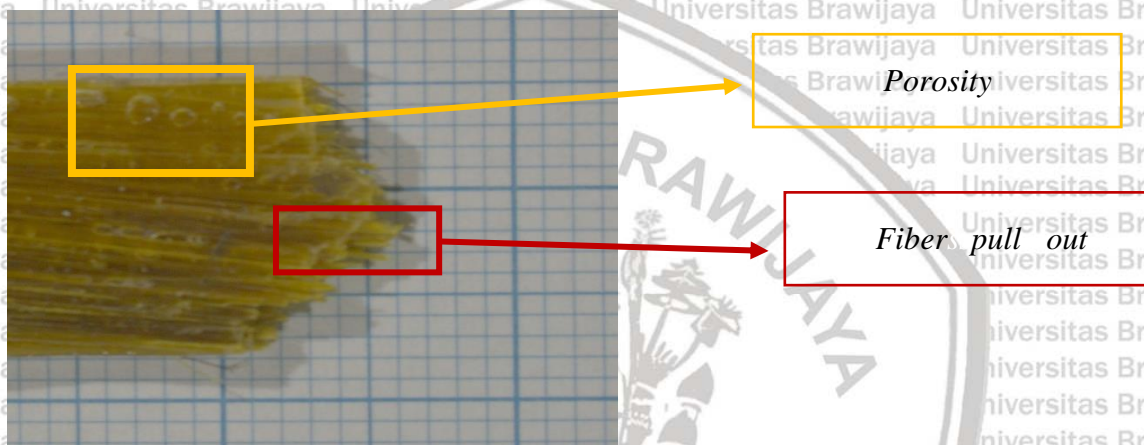
Patahan pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik dalam larutan alkali selama 30 menit terlihat pada Gambar 4.19. Patahan tersebut terjadi pada *gauge length* dari spesimen. Patahan secara detail pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 30 menit terdapat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 yang terbagi dalam dua *section* yaitu patahan *section A* dan patahan *section B*.



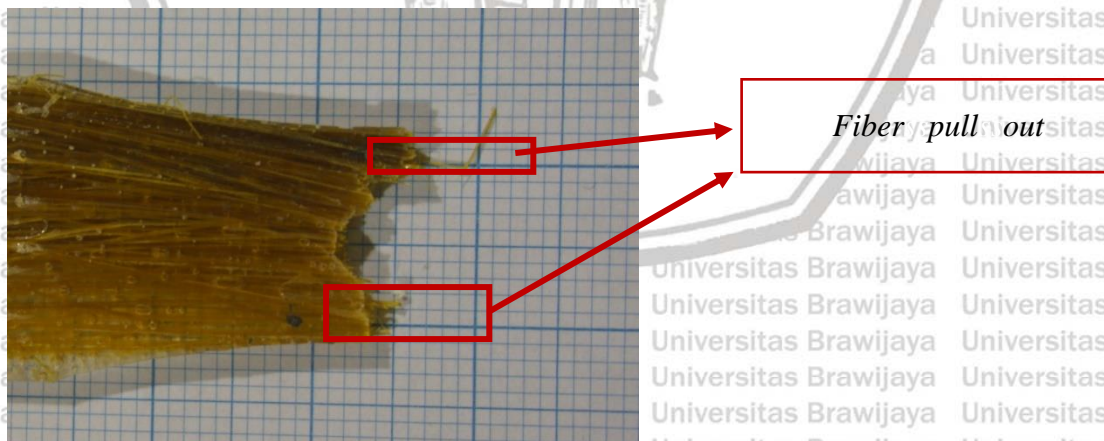
Gambar 4.19 Patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali ultrasonikasi 30 menit

Pada patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonikasi 30 menit diperlihatkan bahwa pada Gambar 4.20 (patahan *section A*) dan Gambar 4.21 (patahan *section B*). Patahan pada spesimen ini terlihat lebih sedikit cacat dibandingkan dengan spesimen komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan dan perlakuan dengan pemanasan gelombang ultrasonikasi 15 menit. Semakin lama waktu yang digunakan dalam pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik dalam

larutan alkali maka semakin besar juga energi elektromagnetik yang diubah menjadi energi panas. Selain itu semakin lama waktu yang digunakan akan mengurangi kelembaban dari serat serta mendegradasi kandungan lainnya (Patra, 2012). Sehingga mengakibatkan serat semakin kasar dan bersih. Hal tersebut meningkatkan adhesi antara serat dan matriks *epoxy*. Dengan semakin baiknya adhesi pada perlakuan alkali-ultrasonikasi 30 menit menghasilkan cacat *pull out* pada serat yang lebih sedikit dan lebih pendek. Pada spesimen komposit ini juga dihasilkan cacat *porosity*. Cacat *porosity* terbentuk karena adanya gelembung udara yang terperangkap pada produk komposit pada saat proses *curing* akibat kurang meratanya resin yang dicampurkan pada permukaan *fiber*.



Gambar 4.20 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali-ultrasonikasi 30 menit section A



Gambar 4.21 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali-ultrasonikasi 30 menit section B

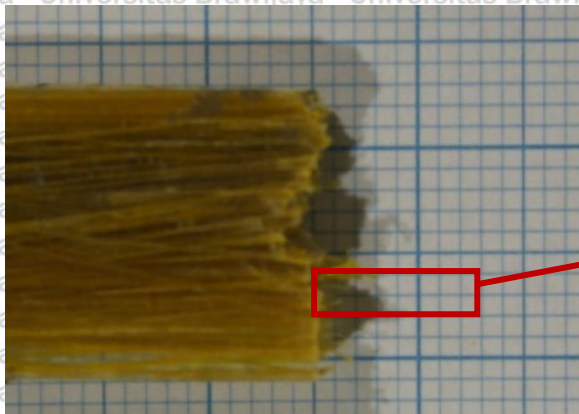
4.5.4 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Pemanasan Gelombang Ultrasonik-Alkalisasi 45 Menit

Patahan pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit pada larutan alkali terlihat pada Gambar 4.22. Patahan tersebut terjadi pada *gage length* dari spesimen. Patahan secara detail pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit terdapat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 yang terbagi dalam dua *section* yaitu patahan *section A* dan patahan *section B*.



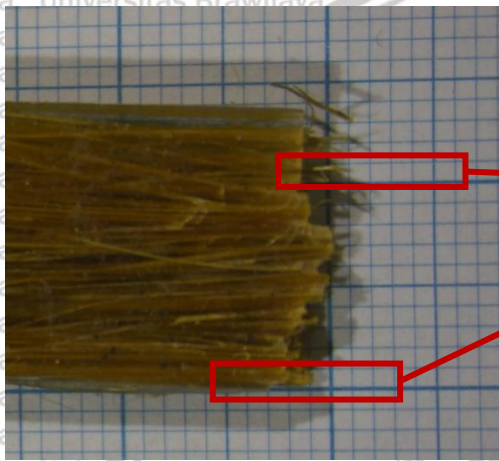
Gambar 4.22 Patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali ultrasonikasi 45 menit

Pada patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit diperlihatkan bahwa pada Gambar 4. 27 (patahan *section A*) dan Gambar 4. 28 (patahan *section B*). Patahan pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung yang telah diberi perlakuan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik 45 menit terdapat beberapa cacat yaitu cacat *fiber pull out*. Hal ini diakibatkan karena semakin lamanya waktu yang digunakan untuk perlakuan pemanasan akan mengakibatkan serat semakin terdegradasi serta rapuh. Menurut Patra (2012) semakin tinggi waktu pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik akan memberikan kerusakan berat pada serat dan menyebabkan kekuatannya menurun. Cacat *fiber pull out* pada spesimen ini tidak disebabkan karena adhesi yang kurang baik melainkan serat yang rapuh sehingga tercabut dari matriksnya.



Fiber pull out

Gambar 4.23 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali-ultrasonikasi 45 menit *section A*

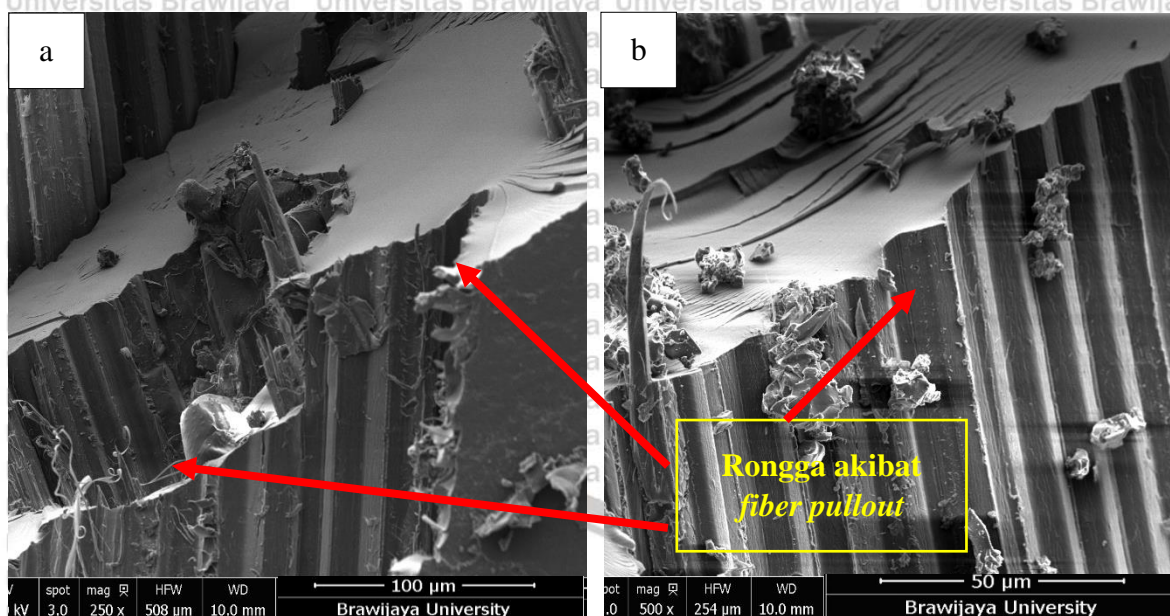


Fiber pull out

Gambar 4.24 Foto makroskopik patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan alkali-ultrasonikasi 45 menit *section B*

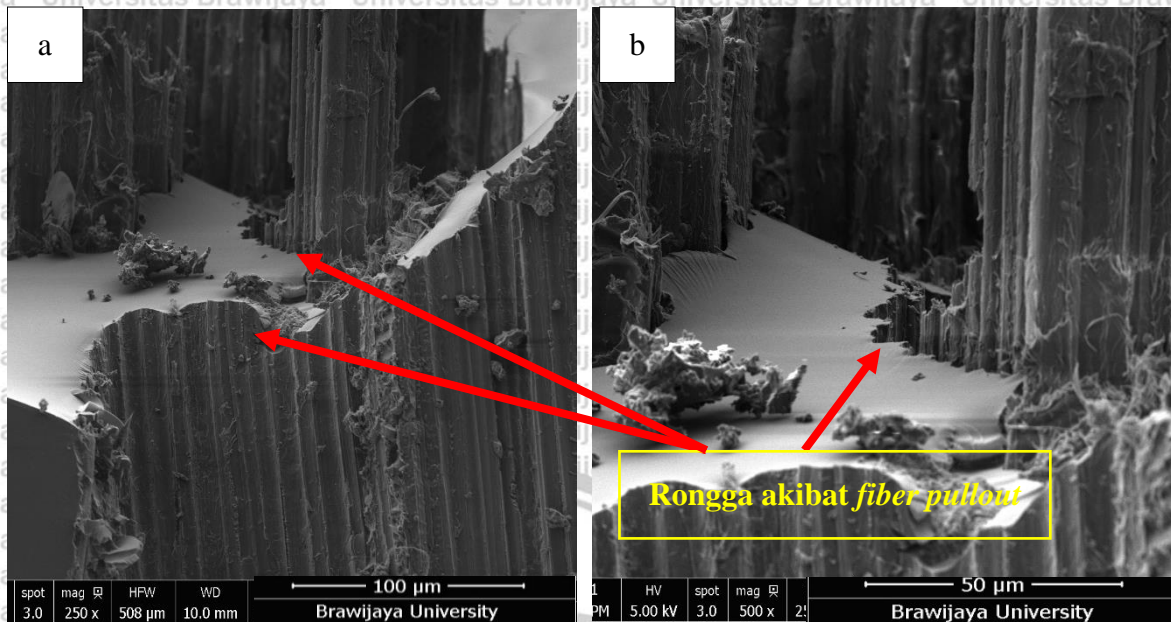
4.6 Analisis Patahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Petung Menggunakan SEM

Dari hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dapat diamati patahan dari komposit berpenguat serat bambu petung. Hasil dari pengujian SEM ini bertujuan untuk mengamati ikatan antara matriks *epoxy* dan serat bambu petung pada patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan dan serat bambu petung yang telah diberi perlakuan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik pada larutan alkali selama 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Perbesaran yang digunakan untuk mengamati patahan tersebut ialah 250x dan 500x.



Gambar 4.25 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x

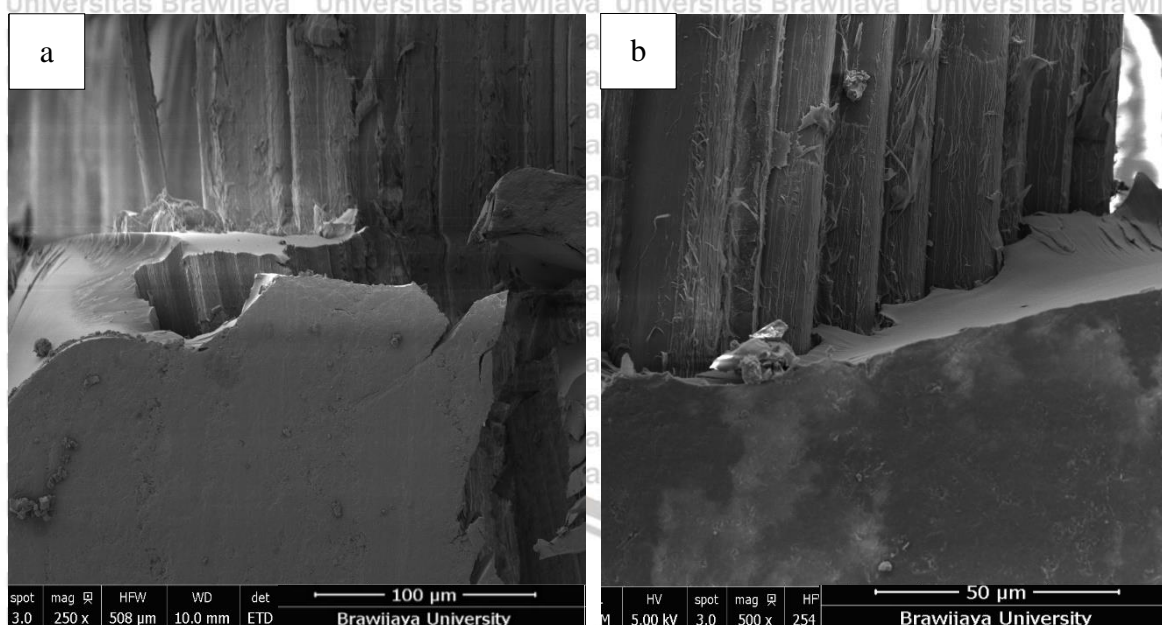
Gambar 4.25 menunjukkan hasil uji SEM dari komposit yang diperkuat oleh serat bambu petung tanpa perlakuan. Pada perbesaran 250x (Gambar 4.25a) dapat diamati terdapat banyak rongga yang disebabkan oleh adanya *fiber pull out*. Menurut Dassios (2007) *fiber pull out* merupakan tercabutnya serat dari matriksnya (matriks *epoxy*). *Fiber pull out* diakibatkan karena rendahnya kemampuan adhesi antara serat dengan matriksnya (matrik *epoxy*). Hal tersebut dapat dilihat pada perbesaran 500x (Gambar 4.25b) bahwa permukaan kontak antara resin dengan serat tidak terlalu baik sehingga tidak menghasilkan adhesi yang baik antara serat dengan matriksnya. Hal tersebut karena pada serat masih memiliki kandungan lignin, hemiselulosa, dan lilin sebagai matriks alaminya serta masih memiliki kelembaban air yang tinggi sehingga tidak menghasilkan kekasaran permukaan yang baik untuk proses adhesi antar serat dengan matriks *epoxy*.



Gambar 4.26 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x

Gambar 4.26 menunjukkan hasil uji SEM dari komposit yang diperkuat oleh serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit. Pada perbesaran 250x (Gambar 4.26a) terdapat rongga hasil dari *fiber pull out*. Rongga tersebut dihasilkan dari tercabutnya serat bambu petung dari matriks *epoxy*. *Fiber pull out* terjadi akibat adhesi antara serat dan matriks *epoxy* yang belum baik. Pada perbesaran 500x (Gambar 4.26b) juga masih terlihat rongga hasil dari *fiber pull out*.

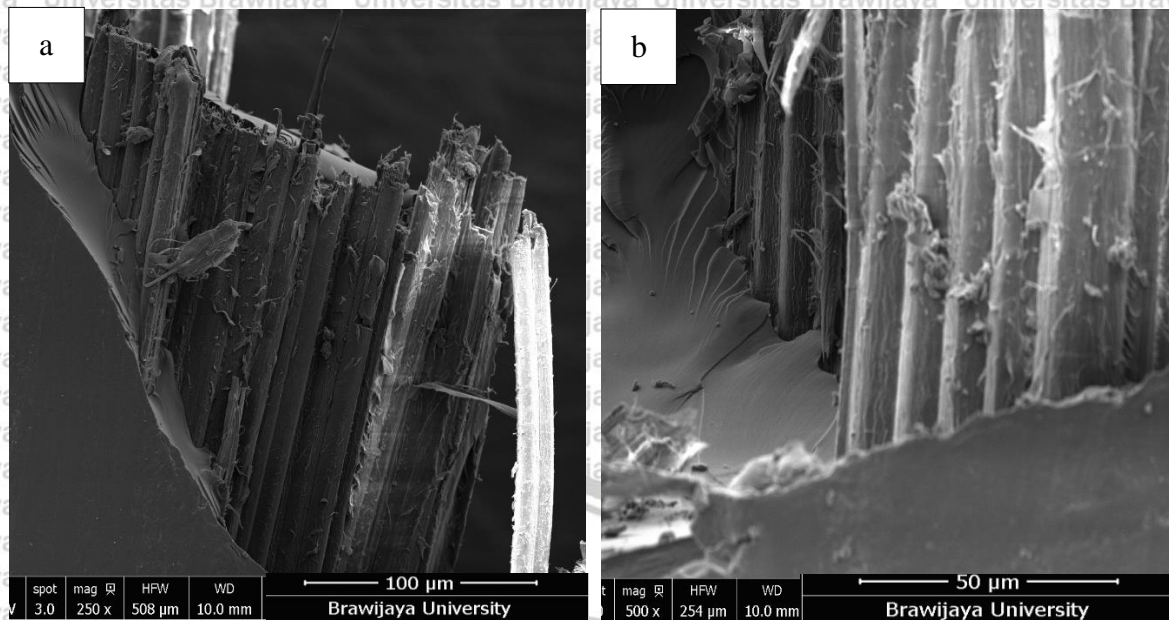
Terlihat bahwa rongga hasil *fiber pull out* pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik selama 15 menit tidak sebanyak pada spesimen komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan karena perlakuan pemanasan pada serat bambu petung dengan gelombang ultrasonik pada larutan alkali mampu mengurangi nilai kadar air pada serat serta mampu mengurangi matriks alami pada serat sehingga kekasaran pada permukaan serat meningkat. Kekasaran permukaan tersebut meningkatkan adhesi antara serat dengan matriks *epoxy* (Bakrie, 2018). Sehingga komposit serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit memiliki adhesi yang lebih baik antara serat dengan matriks alaminya dibandingkan pada komposit serat bambu petung tanpa perlakuan. Hal tersebut dibuktikan dengan rongga *fiber pull out* yang dihasilkan (Gambar 4.26) serta nilai kekuatan tariknya yang lebih tinggi dari komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan.



Gambar 4.27 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 30 menit dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x

Gambar 4.27 menunjukkan hasil uji SEM dari komposit yang diperkuat oleh serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik selama 30 menit dalam larutan alkali NaOH. Pada perbesaran 250x (Gambar 4.27a) dan 500x (Gambar 4.27b) terlihat bahwa patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik selama 30 menit menghasilkan rongga bekas fiber *pull out* yang lebih sedikit. Perlakuan pemanasan dengan gelombang ultrasonik selama 30 menit menyebabkan adhesi antara serat bambu petung dengan matriks *epoxy* meningkat.

Pada Gambar 4.27 menunjukkan bahwa kontak antara serat dan resin sangat baik. Hal tersebut dikarenakan pada perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik selama 30 menit mampu mengurangi nilai kadar air dari serat bambu petung serta mampu mengikis lignin dan kandungan lainnya pada serat sehingga menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik pada serat. Semakin kasarnya permukaan maka akan meningkatkan adhesi dan *interlock* antara serat dengan matriks *epoxy* (Mohammed, 2018). Hal tersebut dibuktikan dengan meningkatnya nilai kekuatan tarik pada komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 30 menit dibandingkan dengan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan dan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit.



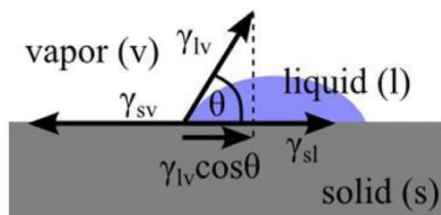
Gambar 4.28 Hasil SEM patahan komposit berpenguat serat bambu petung perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit dengan perbesaran (a) 250x dan (b) 500x

Pada Gambar 4.28 menunjukkan hasil uji SEM dari komposit yang diperkuat oleh serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit. Pada perbesaran 250x (Gambar 4.28a) dan 500x (Gambar 4.28b) terlihat bahwa patahan komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit memiliki adhesi yang baik dibuktikan oleh kontak antara serat bambu petung dengan matriks *epoxy* yang sangat baik. Hal ini dikarenakan permukaannya yang semakin kasar sehingga ikatan adhesi serat dengan matriks epoksi meningkat. Hal tersebut dibuktikan dengan meningkatnya nilai kekuatan tarik pada komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit dibandingkan dengan komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan dan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit serta 30 menit.

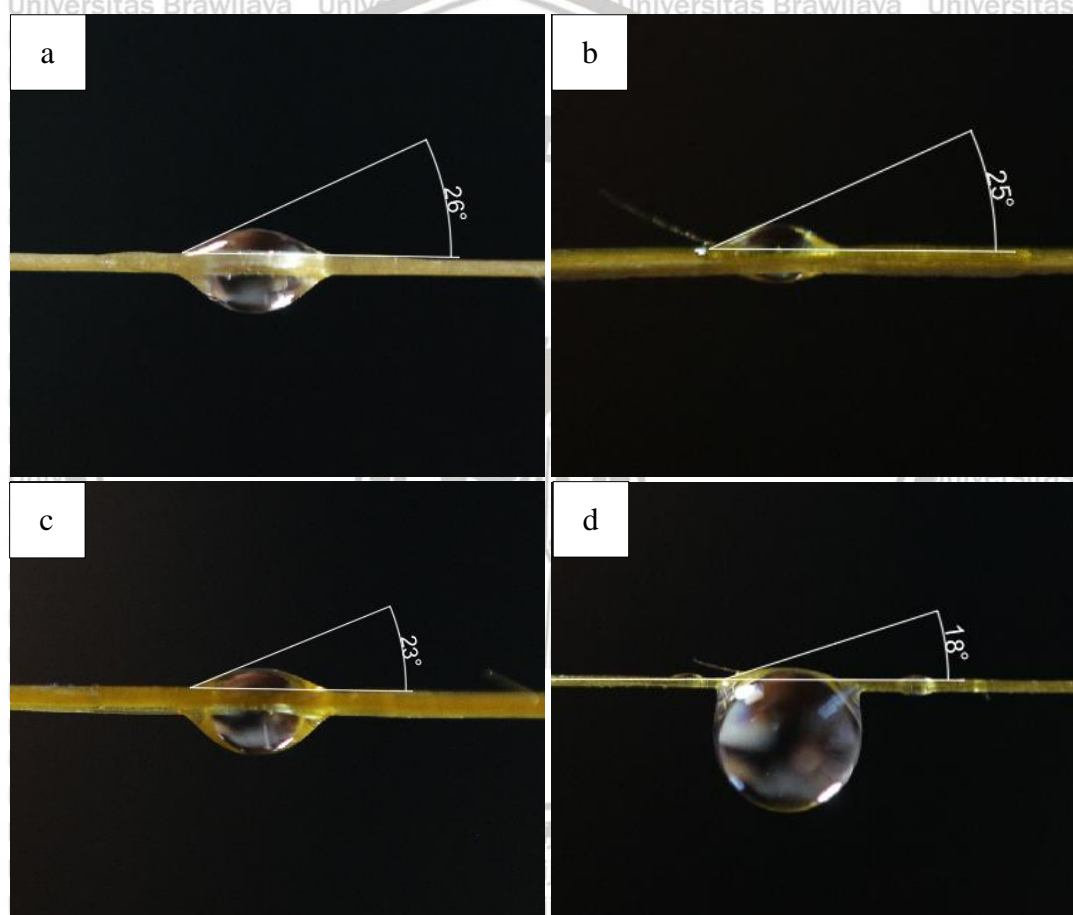
4.7 Hasil Pengujian Wettability

Sifat alami serat alam yang *hydrophilic* berlawanan secara kompatibilitas dengan polimer (matriks) yang bersifat *hydrophobic* menjadi salah satu faktor penyebab kemampuan matriks untuk membasahi serat rendah (Jayamani, 2014). Oleh karena itu, dilakukan pengujian *wettability* untuk melihat kemampuan resin *epoxy* untuk membasahi serat bambu petung tanpa perlakuan maupun serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik selama 15 menit, 30 menit, serta 45 menit. Didapatkan hasil sudut

kontak (θ) antara serat bambu petung dengan droplet resin *epoxy* yang merepresentasikan tegangan permukaan dan bentuk geometri dari droplet. Peletakan posisi droplet dan serat ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Posisi droplet resin *epoxy* dengan serat







Gambar 4.30 Sudut kontak droplet resin *epoxy* terhadap serat bambu petung (a) Tanpa perlakuan, (b) Pemanasan gelombang ultrasonik 15 menit, (c) Pemanasan gelombang ultrasonik 30 menit d) Pemanasan gelombang ultrasonik 45 menit

Pada Gambar 4.30 menunjukkan bahwa sudut kontak dari tetesan droplet resin *epoxy* pada serat bambu petung terbesar dihasilkan pada serat bambu petung tanpa perlakuan dengan sudut kontak sebesar 26° (Gambar 4.30a). Pada serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik pada larutan alkali selama 15 menit memiliki

sudut kontak antara droplet resin *epoxy* dengan serat bambu petung sebesar 25° (Gambar 4.30b). Selanjutnya sudut kontak sebesar 23° (Gambar 4.30c) dihasilkan oleh tetesan droplet resin *epoxy* pada serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik pada larutan NaOH selama 30 menit. Nilai sudut kontak terkecil dihasilkan oleh tetesan droplet resin *epoxy* pada serat bambu petung dengan pretreatment alkali-ultrasonikasi selama 45 menit yaitu sebesar 18° (Gambar 4.30d). Berdasarkan penjelasan diatas maka didapatkan pada serat bambu petung tanpa perlakuan maupun dengan perlakuan alkali-ultrasonikasi 15 menit, 30 menit, serta 45 menit memiliki kemampubasahan yang baik. Berdasarkan penjelasan di atas seluruh serat memiliki kemampubasahan yang baik karena sudut kontak yang dihasilkan dalam $\text{range } 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ (Rupp, 2014). Semakin lama waktu *pretreatment* alkali-ultrasonikasi yang diberikan maka kemampubasahan semakin meningkat ditunjukkan dengan menurunnya sudut kontak antara droplet resin dengan serat.

Tabel 4.3
Skema sudut kontak pada droplet pada permukaan

Sudut Kontak	Representasi Optik	Hasil
$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$		Kemampubasahan baik
$\theta = 0^\circ$		Kemampubasahan sempurna
$90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$		Kemampubasahan rendah
$\theta = 180^\circ$		Tanpa pembasahan

Sumber : Rupp (2014)

Berdasarkan pada Tabel 4.2 didapatkan bahwa pada serat bambu petung tanpa perlakuan memiliki kemampubasahan yang baik tetapi dengan sudut kontak yang paling besar. Hal ini dikarenakan serat bambu petung tanpa perlakuan memiliki kelembaban tinggi yang menutupi rongga pada permukaan serat sehingga menurunkan kemampubasahan resin *epoxy* pada serat. Selain itu pada serat bambu petung tanpa perlakuan masih terdapat zat penyusun pada serat seperti lignin, hemiselulosa, dan lilin yang mengotori dan menutupi permukaan

serat bambu petung. Pada serat bambu petung yang diberi perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik pada larutan alkali dengan waktu berbeda memberikan kemampubasaan yang lebih baik dibandingkan dengan serat bambu petung tanpa perlakuan dibuktikan dengan sudut kontak yang dihasilkan. Menurut Mohammed (2018) perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik mampu menurunkan kelembaban serat serta mampu membersihkan serat sehingga kekasarannya meningkat. Kekasaran permukaan yang meningkat akan meningkatkan kemampubasaan resin *epoxy* terhadap serat bambu petung sehingga adhesi antara serat bambu petung dengan matriks *epoxy* menjadi lebih baik.





HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

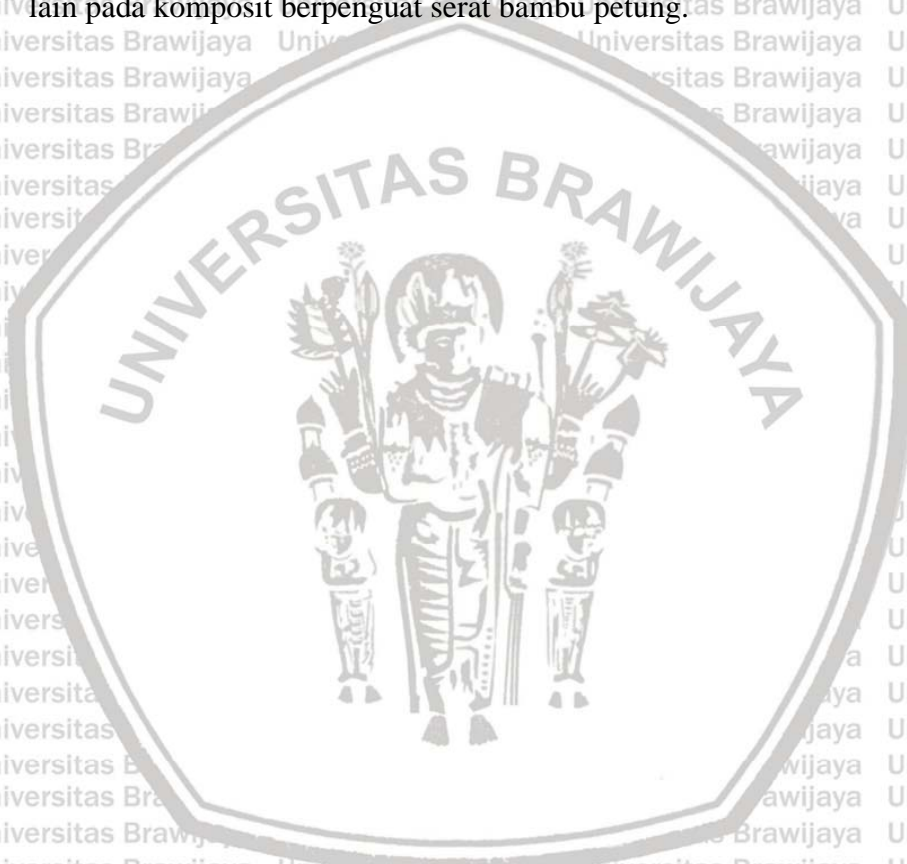
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang telah didapatkan pada penelitian ini ialah nilai kekuatan tarik pada komposit berpenguat serat bambu petung dari yang terendah hingga yang tertinggi sebagai berikut : Komposit berpenguat serat bambu petung tanpa perlakuan memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 110,359 MPa; Komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik-alkalisasi 15 menit memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 143,706 MPa; Komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik-alkalisasi 30 menit memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 149,484 MPa ; Komposit berpenguat serat bambu petung dengan perlakuan pemanasan gelombang ultrasonik-alkalisasi 45 menit memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 163,135 MPa. Hal ini membuktikan bahwa pemanasan menggunakan gelombang ultasonik pada larutan alkali NaOH mampu merubah morfologi dari permukaan serat bambu petung dengan mengurangi kadar lignin serat bambu petung serta mampu mengikis matriks alami lebih lanjut. Hal ini dibuktikan dengan persentase kadar lignin serat bambu petung yang semakin menurun seiring bertambahnya waktu pemanasan. Selain itu hasil SEM pada permukaan serat bambu petung didapatkan permukaan yang lebih kasar dan terkikis seiring bertambahnya waktu pemanasan. Dengan semakin kasarnya permukaan serat, menurunnya kadar lignin, dan menurunnya intensitas matriks alami dari serat bambu petung mampu meningkatkan kemampubasahan serat bambu petung. Peningkatan waktu pemanasan gelombang ultrasonik mampu mengubah morfologi permukaan serat bambu petung menjadi lebih kasar sehingga meningkatkan adhesi antara serat bambu petung dengan matriks *epoxy* dan mencapai nilai kekuatan tarik yang optimum pada pemanasan gelombang ultrasonik selama 45 menit dalam larutan alkali.

5.2 Saran

1. Perlunya standarisasi mengenai ukuran serat bambu petung yang digunakan sehingga lebih homogen.
2. Perlunya ketelitian dalam proses perlakuan serat bambu petung terutama saat perendaman NaOH dan pemanasan menggunakan gelombang ultrasonik serta perlunya alat pendukung untuk mempermudah pembuatan spesimen komposit.
3. Perlunya penggunaan jenis alkali yang lebih ramah lingkungan seperti CaOH_2 untuk proses perendaman.
4. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk melihat kekuatan tarik dari variasi pemanasan lain pada komposit berpenguat serat bambu petung.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Khalil, H. P. S. et al. (2012). *Bamboo Fibre Reinforced Biocomposites: A review*, Materials and Design, p. 353–368..
- Alupului, A., & Lavric, V. (2009). *Extraction intensification using ultrasounds case study: Glycosides from Stevia rebaudiana Bert. Revista de Chimie*, 60(5), 497-500.
- Andita, D. (2018). *Pengaruh Waktu Perendaman Nanoserat Selulosa dari Tkks dengan LiCl/DMAc sebagai Pelarut Sebagian pada Proses Pembuatan Nanokomposit All-Celullose*, Skripsi S1, Universitas Sumatera Utara.
- Alisina et al., The Relationship Between Surface Roughness And Corrosion. Canada: University of Windsor.
- Arrahman, R. C., Manik, P., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Kekuatan Lentur dan Kekuatan Tarik Pada Balok Laminasi Bambu Petung dan Kayu Kelapa (Glugu) Untuk Komponen Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1).
- ASTM International. (2003). *Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastic*. Pensylvania. West Conshohocken..
- Augraini, A, Syahbanu, I, dan Melati, H.A. (2018). *Pengaruh Waktu Sonikasi Terhadap Karakteristik Selulosa Asetat Hasil Sintesis Dari Sabut Pinang*. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7 (3), p.18-26
- Autar, Kaw. (2006). *Mechanics of composites material*. New York. CRC Press-Taylor & Francis Group.
- Avner, S. H. (1974). *Introduction To Physical Metallurgy* (Vol. 2, p. 481-497). New York: McGraw-hill.
- Bakri, B., Naharuddin, Putra, A. E. E., Renreng, I. & Arsyad, H. (2018). Characterization of Coir Fibers After Alkali and Microwave Treatment. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 13 (4): 1335 – 1339.
- Bledzki, A.K., Gassan, J. (1999). *Composites Reinforced With Cellulose Based Fibres*. *Prog. Polym. Sci.* 24, p. 221–274.
- Groysman A. 2016. *Corrosion problems and solutions in oil, gas, refining and petrochemical industry*. Israel: Elsevier.
- C. J. McHargue, Y. Tzeng, M. Yoshikawa, M. Murakawa, A. Feldman. (1991). *Applications Of Diamond Films And Related Materials*. Materials Science Monographs, Elsevier, New York.
- Callister, W. D. (2007). *Material Science and Engineering, An Introduction. 7ed*, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Wiley and Sons, Inc.
- Casey JP. (1980). *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. 3 edition Vol. I A. New York: Willey Interscience Publisher.
- Chakraborty, D dan Das, M. (2008). *Evaluation Of Improvement Of Physical And Mechanical Properties Of Bamboo Fibres Due To Alkali Treatment*. *Journal of Applied Polymer Science* 107: 522–527
- Clayton A. (1987). *Epoxy Resins: Chemistry And Technology (Second Ed)*. New York: Marcel Dekker Inc.

- Cruz, J. M. (2015). *Giant Bamboo Fiber Reinforced Epoxy Composite in Multilayered Ballistic Armor*. Materials Research. 18(2), pp. 70–75. doi:10.1590/1516-1439.347514
- Darni, Yuli., Lismeri, Lia., Devi, Gitri., Hanif, Muhammad., Ulya, Muhammad Ridho. (2020). *Pengaruh Proses Ultrasonikasi terhadap Ukuran Serat Selulosa dari Batang Sorgum*. Universitas Lampung.
- Dassios, Konstantinos G. (2007). *A Review Of The Pull-Out Mechanism In The Fracture Of Brittle-Matrix Fibre-Reinforced Composites*. Greece : University of Patras.
- David, Cripss. (2010). Manufacturing Guide and Tools, <http://netcomposites.com/guide-tools/guide>, (Diakses pada 24 September 2020). Pukul 10.21 AM
- Dehani, F. R., Argo, B. D., & Yulianingsih, R. (2013). *Pemanfaatan Iradiasi Gelombang Mikro Untuk Memaksimalkan Untuk Proses Pretreatment Degradasi Lignin Jerami Padi (Pada Produksi Bioetanol)*. Jurnal Bioproses Komoditas Tropis, 1(1).
- Dransfield, S. and E.A. Widjaya. (1995). *Plant Resources of South East Asia No 7. Bambus*. Proses Foundation, Bogor.
- FAO and INBAR. (2005). *Global Forest Resources Assessment Update. Indonesia. Country Report on Bamboo Resources. Forest Resources Assessment Programme Working Paper (Bamboo)*. Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO), Forestry Department and International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), Jakarta.
- Fatriasari, W., & Hermiati, E. (2008). *Analisis Morfologi Serat dan Sifat Fisis-Kimia Pada Enam Jenis Bambu Sebagai Bahan Baku Pulp and Paper*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan, 1(2).
- Filson, P. B., & Dawson-Andoh, B. E. (2009). *Sono-Chemical Preparation Of Cellulose Nanocrystals From Lignocellulose Derived Materials*. Bioresource Technology, 100(7), 2259-2264.
- Garcia, M.G. Alriols, R. Llano-Ponte, J. Labidi. (2011). *Ultrasound-Assisted Fractionation Of The Lignocellulosic Material*. Bioresource Technology 102 6326–6330.
- Gere, James M., Timoshenko, Stephen P. (1972). *Mekanika Bahan Edisi Keempat, Jilid I*. Jakarta.
- Ginoga, B. (1977). *Sifat Fisis dan Mekanis bambu apus (Gigantochloa apus Kurz) dan bambu hitam (Gigantochloa nigrocillata Kurz)*. Laporan intern Lembaga penelitian hasil hutan. Bogor.
- Hagenson, L. C., and Doraiswamy, L. K. (1998). *Comparison Of The Effects Of Ultrasound And Mechanical Agitation On A Reacting Solid-Liquid System*. Chemical Engineering Science, 53(1), 131–148
- Harun MY, Radiah ABD, Abidin ZZ, Yunus R. (2011). *Effect Of Physical Pretreatment On Dilute Acid Hydrolysis Of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes)*. Bioresour Technol
- Haygreen, J. G. dan J. L. Bowyer. (1996). *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu, Terjemahan*. Gadjah Mada University: Yogyakarta.

- Hickel, S., Mihatsch, M., Schmidt, S.J. (2013). *Implicit Large Eddy Simulation of Cavitation in Micro Channel Flows*. In: Proc. WIMRC Cavitation Forum 2011, e-publication, Warwick, UK.
- Hossen, M. F. (2011). *Biocomposites Reinforced With Natural Fibers 2000 – 2010*. Progress in Polymer Science, 37(11), p. 1552–1596.
- Jayamani, E., Hamdan, S., Heng, S. K., Rahman, M. R., Bakri, M. K. & Kakar, A. (2014). *The Effect of Natural Fibres Mercerization on Natural Fibres / Polypropylene Composites: A Study of Thermal Stability, Morphology and Infrared Spectrum*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 8 (15): 332 – 340.
- Jenuardy, Sindy. (2018). *Pengaruh Variasi Waktu Treatment Gelombang Ultrasonik Terhadap Struktural Dan Kekuatan Tarik Bioanokomposit Pati Berpenguat Nanoclay*. Universitas Negeri Malang
- Jones, Robert M. (1995). *“Mechanics of Composites”*. Material Scripta Book Company. New York.
- Jones, Robert M. (1999). *Mechanics Of Composite Materials*. Institute of technology Southern Methodist University. Dallas. Mc Graw-Hill
- Joshi, S. V., M. (2004) *‘Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?’*, Composites: Part A, 35, p. 371–376.
- Judawisastra, H., Sitohang, R. D. R. and Rosadi, M. S. (2017). *Water absorption and tensile strength degradation of Petung bamboo (Dendrocalamus asper) fiber-reinforced polymeric composites*. Materials Research Express. IOP Publishing, 4(9)
- Judawisastra, Hermawan. (2016). *Karakteristik Sifat Tarik Serat Bambu Petung (Dendroaamusu Asper)*. Institut Teknologi Bandung.
- Julfana R. 2012. *Hidrolisis Enzimatis Selulosa Dari Ampas Sagu Menggunakan Campuran Selulase Dari Trichoderma Reesei Dan Aspergillus Niger*. JKK. 2(1) : 52-57
- Jyoti Prakash Dhall and S. C. Mishra. (2013). *Processing and Properties of Natural Fiber-Reinforced Polymer Composite*. Hindawi Publishing Corporation Journal of Materials Volume 2013
- K. Sharma, S. Kuhar, R. Kuhad, P. Bhat. (2007). *Combinatorial Approaches To Improve Plant Cell Wall Digestion: Possible Solution For Cattle Feed Problems*, in: R.C. Kuhad, A. Singh (Eds.), Lignocellulose Biotechnology: Future Prospects, IK International Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi.
- Kakani. (2004). *Material Science*. New Delhi. New age International Publisher.
- Khalil. (2005). *The Use of Bamboo Fibres as Reinforcements in Composites*. Malaysia: Universiti Sains Malaysia and Universiti Putra Malaysia
- Kohlmann, K.L., Sarikaya, A., Westgate, P.J., Weil, J., Velayudhan, A., Hendrickson, R., Ladisch, M.R., 1995. *Enhanced enzyme activities on hydrated lignocellulosic substrates*. In: Saddler, J.N., Penner, M.H. (Eds.), Enzymatic Degradation of Insoluble Carbohydrates. ACS Publishing, pp. 237–255.
- Kurniawan, Hendry., Garchia, Calvin Hardi., Ayucitra, Aning., Antaresti. (2017). *Pemanfaatan Kulit Buah Matoa Sebagai Kertas Serat Campuran Melalui Proses*

- Pretreatment Dengan Bantuan Gelombang Mikro Dan Ultrasonik*. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
- Lee, D., Yu, A.H.C., Wong, K.K.Y., Saddler, J.R., 1994. *Evaluation of the enzymatic susceptibility of cellulosic substrates using specific hydrolysis rates and enzyme adsorption*. Applied Biochemistry and Biotechnology 45/45, 407–415
- Li, H., Qu, Y., & Xu, J. (2014). *Microwave-Assisted Conversion of Lignin*. National Key Laboratory of Biochemical Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy Sciences, Beiertiao 1#, Zhongguancun, Haidian Dist., Beijing. 61-82
- Lorimer, J.P. and Mason, T.J. (1987). Sonochemistry. *Part 1—the physical aspects*. Chemical Society Reviews, 16. p.239-274.
- Lu, T. et al. (2013). *Composites : Part B Effect of surface modification of bamboo cellulose fibers on mechanical properties of cellulose / epoxy composites*, Composites Part B, 51, p. 28–34.
- Luque de Castro, M. D., Priego-Capote, F. (2007). *Analytical Application of Ultrasound*. Elsevier Science, 26, 1-398.
- Lynd, L.R., Elander, R.T., Wyman, C.E., 1996. *Likely features and costs of mature biomass ethanol technology*. Applied Biochemistry and Biotechnology 57/58, 741–761.
- Manuhuwa, E., Titarsole, J., & Loiwtu, M. (2007). Sifat dasar beberapa jenis bambu dan pemanfaatannya di Pulau Seram.
- Maryana, R., Ma'rifatun, D., Wheni, A.I., Satriyo, K.W., Rizal, W.A. (2014). *Alkaline Pretreatment on Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production*. Energy Procedia. 47. 250-254.
- Mason, T.J. dan Peters, D. (2002). *Practical Sonochemistry: Uses and Applications of Ultrasound, 2nd Edition*. Inggris: Woodhead Publishing.
- Matsumita, Y., Kakehi, A., Miyawaki, S., dan Yasuda, S. (2004). *Formation and Chemical Structure of Acid-Soluble Lignin II: Reaction of Aromatic Nucleic Model Compounds with Xylan in The Presence of A Counterpart for Condensation and Behavior of Lignin Model Compounds with Guaiacyl and Syringly Nucleic in 72% Sulfuric Acid*. J. Wood Sci 50, 136-141
- Matthews, F.L., Rawlings, RD. (1993). *Composite Material Engineering And Science, Imperial College Of Science*. Technology And Medicine, London, UK.
- Matthews, F.L., Rawlings, RD., (1994). *Composite Material Engineering And Science, Imperial College Of Science*. Technology And Medicine, London, UK.
- Mazumdar, S.K.(2002). *Composites manufacturing: materials, product, and process*. London: CRC PRESS LCC.
- Mikell PG. (1996). *Composite Material Fundamental of Modern Manufacturing Material, Processes, And System*, Prentice Hall.
- Misra. (2011). *Bioplastics and Green Composites from Renewable Resources. Where we are and Future Directions.*, in 18th International Conference on Composite Materials. Jeju Island, Korea: Elsevier.

- Modenbach, A.A. (2013). *Sodium hydroxide pretreatment of corn stover and subsequent enzymatic hydrolysis: An investigation of yields, kinetic modeling and glucose recovery*.
- Mohammed, A. A., Bachtar, D., Rejab, M. R. M. & Siregar, J. P. (2018). Effect of microwave treatment on tensile properties of sugar palm fibre reinforced thermoplastic polyurethane composites. *Elsevier Defence Technology*. 14: 287– 290.
- Mohanty, Amar K., et.al. (2005). *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. United States of America: Taylor & Francais
- Moriscso. (1999) *Rekayasa Bambu, Nafiri Offset*, Yogyakarta
- Mosier, N.S., Hendrickson, R., Dreschel R., Welch, G., Dien, B.S., Bothast, R., Ladisch, M.R., 2003a. *Principles and economics of pretreating cellulose in water for ethanol production*, Paper 103, BIOT Division, 225th American Chemical Society Meeting, New Orleans, 26 March 2003.
- Mosier, N.S., Hendrickson, R., Welch, G., Dreschel, R., Dien, B., Ladisch, M.R., 2003b. *Corn fiber pretreatment scale-up and evaluation in an industrial corn to ethanol facility*. Paper 6A-04, 25th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals, Breckenridge, CO.
- Niu, Hedong & Wu, Zhishen. (2002). *Strengthening Effects of RC flexural Members with FRP Sheets Affected by Adhesive Layers*. *Journal of Applied Mechanics*. 5 : 887-897.
- Nozari, O. et al. (2013). *Mechanical Properties and Water Uptake of Nanoclay / Wood Flour / LDPE Composites After Fiber Surface Mercerization*. *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(3–4), pp. 295–301.
- Osorio, L. et al. (2011). *Morphological aspects and mechanical properties of single bamboo fibers and flexural characterization of bamboo/ epoxy composites*. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(5), p. 396– 408.
- P.B. Filson, B.E. Dawson-Andoh. (2009). *Sono-chemical preparation of cellulose nanocrystals from lignocellulose derived materials*. *Bioresource Technology* 100:2259–2264.
- Patra, A., Bisoyi, D. K., Manda, P. K. & Singh, A. K. (2012). Effect of microwave radiation on the macromolecular, morphological and crystallographic structures of sisal fiber. *Applied Physics A Material Science & Processing*. 112: 1063 – 1071
- Pratiwi, I, Pardi, dan Yunus, M. (2018). *Pemisahan Asam Laurat dari Virgin Coconut Oil (VCO) dengan Metode Saponifikasi dan Sonikasi*. *Jurnal Teknik Kimia*, 2 (1), 4-9
- Priyanka, P., Dixit, A., Mali, H.S. (2017). *High-Strength Hybrid Textile Composites With Carbon, Kevlar, And E-Glass Fibers For Impact-Resistant Structures. A Review*. Jaipur, India
- PT. Justus Kimia Raya, Data sheet (2003). *Data Sheet Spesifikasi Unsaturated Polyester Resin Yukalac 157® BTQN-EX*. Jakarta
- Putra dan Ini. (2017). *Produksi Microcrystalline Cellulose (MCC) dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sengon Melalui Proses Sonikasi dan Hidrotermal*. Skripsi Teknik Kimia ITS, Surabaya

- Ramdhani, M. A. (1994). *Biopulping, Pemanfaatan Fungi White Rot sebagai Rekayasa Proses Alternatif Industri Pulp dengan Bahan Baku Kayu Sengon*. Skripsi Fateta IPB, Bogor
- Refiadi, G. and Judawisastra, H. (2013). *Optimasi Produk Komposit Polimer Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) menggunakan Metode Taguchi*, Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik, 3(2), pp. 69–76.
- Rupp, Frank., et al. (2014). *A Review on the Wettability of Dental Implant Surfaces I: Theoretical and Experimental Aspects*. *Acta Biomaterialia*, 10 (7) : 2894–2906
- Safaria, S. 2013. *Efektivitas Campuran Enzyme Selulase Dari Aspergillus Niger Dan Trichoderma Reesei Dalam Menghidrolisi Substrat Sabut Kelapa*. ISSN: 2303- 1077, 2(1) : 46-51
- Sastrapraja, S., E.A. Widjaja, S. Prawiroatmodjodan S. Soenarko. (1977). *Beberapa Jenis Bambu*. Lembaga Biologi Nasional. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bogor.
- Schwartz, Mel M. (2002). *Composite Materials Handbook, Second Edition*, United States of America: McGraw-Hill.
- Steffen, Kari T. (2003). *Degradation of Recalcitrant Biopolymers and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Litter – Decomposing Basidiomycetous Fungi*. Helsinki : University of Helsinki
- Subhedar Preeti B., Ray Pearl, Gogate Parag R. (2013). *Alkaline and ultrasound assisted alkaline pretreatment for xv intensification of delignification process from sustainable raw-material*. India: Chemical Engineering Department, Institute of Chemical Technology.
- Sulton, Yusuf., Moh. Farid Alvian, T. Wibisono (2017). *Pengaruh Proses Alkali dan Fraksi Massa Serat terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Komposit Polyurethane / Coir Fiber*. Jurnal Teknik ITS. Vol. 6 (ISSN : 2301 - 9271).
- Sumadiwangsa, S dan Gusmailina. (1988). *Analisis Kimia Sepuluh Jenis Bambu dari Jawa Timur*.
- Sun RC, Tomkinson J. (2002). *Comparative Study Of Lignins Isolated By Alkali And Ultrasound-Assisted Alkali Extractions From Wheat Straw*. *Ultrason Sonochem* 9:85–93.
- Suslick, K. S., Mdleleni, M. M., & Ries, J. T. (1997). *Chemistry induced by hydrodynamic cavitation*. *Journal of the American Chemical Society*, 119(39), 9303-9304.
- Suslick, K.S. (1989). *The Chemical Effects of Ultrasound*. *Scientific American*, Amerika, hal. 80-87
- Suslick, K.S. (1994). *The Chemistry of Ultrasound*. *Encyclopedia Britannica*, Chicago, hal. 138-155.
- Tarkow, H., & Feist, W. C. (1969). *A Mechanism for Improving the Digestibility of Lignocellulosic Materials with Dilute Alkali and Liquid Ammonia*, *Advances in Chemistry Series*, No. 95, Amer. Chem. Soc., Washington, D.C.

- Thomas Leong, Muthupandian Ashokkumar dan Sandra Kentish, (2011), "The Fundamentals Of Power Ultrasound—A Review", Vol. 39 August, No. 2, hal. 54-63.
- Trujillo E, Moesen M, Osorio L, Van Vuure AW, Ivens J & Verpoest I. (2014). *Bamboo Fibres For Reinforcement In Composite*.
- Van Vlack, L.H. (1994). *terjemahan Japrie, S. Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.
- Viel, Q. (2013). *Interface Properties Of Bio-Based Composites Of Polylactic Acid And Bamboo Fibers*. Lincoln: Nebraska
- Vuure, A. W. van and Osorio, L. (2013). 'Long Bamboo Fibre Composites', in 18th International Conference On Composite Materials, p. 25.
- Wang Y, Zhang J. (2006). *A Novel Hybrid Process, Enhanced By Ultrasonication For Xylan Extraction From Corncobs And Hydrolysis Of Xylan To Xylose By Xylanase*. J Food Eng 77:140–145
- Wang, X., Keplinger, T., Gierlinger, N., Burgert, I. (2014). *Plant material features responsible for bamboo's excellent mechanical performance: a comparison of tensile properties of bamboo and spruce at the tissue, fibre and cell wall levels*, Annals of Botany, 114(8), p. 1627–1635.
- Wicaksono, R. (2013). *Isolasi Nanoserat Selulosa dari Ampas Tapioka dan Aplikasinya Sebagai Bahan Pengisi Film Tapioka*, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Widjaya, E.A. (2001). *Identikit jenis-jenis bambu di Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi*. LIPI, Balai Penelitian Botani, Herbarium Bogoriense, Bogor, Indonesia.
- Xu, H., Zeiger, B. W., & Suslick, K. S. (2013). *Sonochemical Synthesis Of Nanomaterials*. Chemical Society Reviews, 42(7), 2555-2567.
- Yang W, Ajapur VK, Krishnamurthy K, Feng H, Yang R, Rababah TM. (2009). *Expedited Extraction Of Xylan From Corncob By Power Ultrasound*. Int J Agric Biol Eng. pp. 2:76-83.
- Yunus, R., Salleh, S.F., Abdullah, N., Biak, D.R.A. (2010). *Effect Of Ultrasonic Pre-Treatment On Low Temperature Acid Hydrolysis Of Oil Palm Empty Fruit Bunch*. Bioresource Technology. 101 (24). 9792-9796.





KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI FISIKA
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144, Telp./Faks. (0341) 558933

Lampiran 1

HASIL PENGUJIAN KEKUATAN TARIK

1. Informasi Umum

Nama Sampel : Polimer Adhesif
Kode Sampel : RM/03/2021
Jumlah Sampel : 12 Pcs
Parameter Uji : Kekuatan Tarik
Nama Pelanggan : Emerald Adhiastra
Instansi : Fak. Teknik Universitas Brawijaya Malang
Alamat : Malang
Tanggal Pengujian Sampel : 05 April dan 16 April 2021

2. Data Hasil Pengujian

No.	Nama Sampel (Variasi Perlakuan)	Force @ Peak (kgf)	Tensile Stress (MPa)	Elongation @ Peak (mm)	Elongation Percentage @ Peak (%)
1	Non 1	372.530	122.915	6.210	5.175
2	Non 2	272.280	94.596	6.329	5.274
3	Non 3	339.770	113.565	7.117	5.921
4	15 menit 1	521.930	182.799	8.178	6.622
5	15 menit 2	374.940	134.868	7.182	5.975
6	15 menit 3	343.550	113.452	6.764	5.627
7	30 menit 1	591.900	175.896	10.410	8.429
8	30 menit 2	386.340	124.698	7.467	6.212
9	30 menit 3	420.700	147.857	8.323	6.925
10	45 menit 1	458.000	187.144	7.335	5.939
11	45 menit 2	498.020	169.251	8.765	7.292
12	45 menit 3	384.680	133.010	7.570	6.297

Malang, 05 Mei 2021

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Riset Material

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Operator/Laboran

Nurun Nayiroh, M.Si
19850312 201101 2 018

Catatan: Laboratorium tidak melakukan sampling, sampel diterima dari pemohon.



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

LABORATORIUM EVALUASI TEKSTIL JUR. TEKNIK KIMIA-TEKSTIL-FTI-UII

Jl Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895287 ext. 130 Fax (0274) 8950007

Website : <http://labtekstilftiuii.wordpress.com>, Email : 911002136@uii.ac.id /CP : 081 328 77 6858

DATA HASIL UJI LAB. EVALUASI TEKSTIL

Lampiran Nomor : 021/Kalab.ET/10/Lab.ET/IV/2021

1. Pengujian Kekuatan Tarik & Mulur Serat Bambu Petung

Milik : Sdri. Emeraldad Adhiastra-T. Mesin-Fak.Teknik - Universitas Brawijaya Malang

Kode Sampel	Uji ke	Nilai Uji Kekuatan Tarik & Mulur Serat Bambu Petung		Nilai Diameter Serat Bambu Petung (mm)
		Nilai Kekuatan (N)	Nilai Kemuluran (%)	
TP1	1	21.974	1.857	0.3378
	2	22.366	1.571	0.3379
	3	24.623	1.00	0.3393
Nilai Rata-rata		22.988	1.476	0.3383
15 MENIT	1	27.271	1.714	0.3518
	2	15.499	1.142	0.3518
	3	21.876	1.428	0.3249
Nilai Rata-rata		21.549	1.428	0.3428
30 MENIT	1	20.618	0.714	0.3862
	2	20.676	0.741	0.3971
	3	20.681	1.00	0.3863
Nilai Rata-rata		20.658	0.809	0.3900
45 MENIT	1	17.025	1.714	0.3778
	2	17.136	1.571	0.3509
	3	17.096	1.285	0.3527
Nilai Rata-rata		17.085	1.523	0.3604

Yogyakarta, 9 April 2021
Kalab. Evaluasi Tekstil

(Ir. H. Sukirman, MM.,CTexs.ATI.)



LABORATORIUM
BALAI PENELITIAN TANAMAN PEMANIS DAN SERAT
FORMULIR

Revisi : 0
Tanggal revisi : -
Tanggal terbit : 12-9-2017
Halaman : 1/1

F DP 5.10.2a. LAPORAN HASIL PENGUJIAN (LHP)

Nomor: 07210001

Judul (Laporan Pengujian)	: Laporan Hasil Pengujian Serat Bambu
Nama Laboratorium	: Laboratorium Balittas
Alamat Laboratorium	: Jl. Raya Karangploso Km. 4 Kotak Pos 199, Malang 65152
Lokasi Pengujian	: Laboratorium Kimia Tanaman
No. Pengujian (Identifikasi)*	: 05210001
Tanggal selesai pengujian	: 2 Juli 2021
Nama pelanggan	: Emerald Adhiastra
Alamat pelanggan	: Universitas Brawijaya Malang
Identifikasi metode pengujian yang digunakan	: SNI 0492:2008 (Cara Uji Kadar Lignin Metode Klason)
Kondisi contoh saat diterima	: <input type="checkbox"/> Baik <input type="checkbox"/> Kurang baik <input type="checkbox"/> Rusak
Tanggal penerimaan contoh	: 29 April 2021
Hasil pengujian	: Terlampir
Catatan: Hasil/Laporan pengujian yang disajikan hanya berhubungan dengan contoh yang diuji dan hasil/laporan ini tidak dapat digandakan, kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Penguji.	

Ket. *Nomor yang mampu telusur


Malang, 5 Juli 2021
Penanggung Jawab
Laboratorium

Nunik Eka Diana, SP
NIP. 197802192008012010

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian

No	Kode Sampel	Kadar Lignin (%)
1	Non	19,04
2	15 menit	16,76
3	30 menit	14,51
4	45 menit	17,90

Malang, 5 Juli 2021
Penanggung Jawab
Laboratorium



Nunik Eka Diana, SP
NIP. 197802192008012010